



TUGAS AKHIR - TF 145565

**RANCANG BANGUN SISTEM PENGENDALIAN *TEMPERATURE*
- *FLOW* PADA *HEAT EXCHANGER MINIPLANT DESALINATION*
WATER SECARA *CASCADE CONTROL***

**Ananta Ariska Ocseano
NRP 105115 00000 022**

**Dosen Pembimbing
Detak Yan Pratama, S.T, M.Sc.
NIP. 19840101 201212 1 002**

**Herry Sufyan Hadi, S.T, M.T.
NPP. 1988201711056**

**PROGRAM STUDI DIII TEKNOLOGI INSTRUMENTASI
DEPARTEMEN TEKNIK INSTRUMENTASI
Fakultas Vokasi
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya
2018**

Halaman ini sengaja dikosongkan



FINAL PROJECT - TF 145565

***DESIGN AND BUILD OF TEMPERATURE - FLOW CASCADE
CONTROL SYSTEM IN THE MINIPLANT DESALINATION
WATER'S HEAT EXCHANGER***

**Ananta Ariska Ocseano
NRP 105115 00000 022**

Supervisor

**Detak Yan Pratama, S.T, M.Sc.
NIP. 19840101 201212 1 002**

**Herry Sufyan Hadi, S.T, M.T.
NPP. 1988201711056**

***STUDY PROGRAM OF DIII INSTRUMENTATION TECHNOLOGY
DEPARTMENT OF INSTRUMENTATION ENGINEERING
Faculty of Vocation
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya
2018***

Halaman ini sengaja dikosongkan

**RANCANG BANGUN SISTEM PENGENDALIAN
TEMPERATURE – FLOW PADA HEAT EXCHANGER
MINIPLANT DESALINATION WATER SECARA CASCADE
CONTROL**

Tugas Akhir

Oleh :

Ananta Ariska Ocseano
105115 00000 022

Surabaya, 16 Juli 2018
Mengetahui/Menyetujui

Dosen Pembimbing I



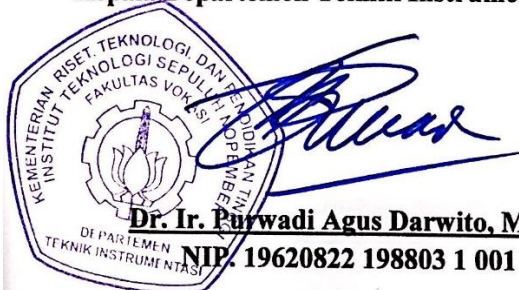
Detak Yan Pratama, S.T, M.Sc.
NIP. 19840101 201212 1 002

Dosen Pembimbing II



Herry Sufyan Hadi, S.T, M.T.
NPP. 1988201711056

Kepala Departemen Teknik Instrumentasi ITS



Dr. Ir. Purwadi Agus Darwito, M.Sc.
NIP. 19620822 198803 1 001




Halaman ini sengaja dikosongkan

TUGAS AKHIR
RANCANG BANGUN SISTEM PENGENDALIAN
TEMPERATURE – FLOW PADA HEAT EXCHANGER
MINIPLANT DESALINATION WATER SECARA CASCADE
CONTROL

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Ahli Madya
pada
Program Studi DIII Teknologi Instrumentasi
Departemen Teknik Instrumentasi
Fakultas Vokasi
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :
ANANTA ARISKA OCSEANO
NRP. 10511500000022

Disetujui oleh Tim Penguji Tugas Akhir :

- | | | |
|---------------------------------------|---|--------------------|
| 1. Detak Yan Pratama, S.T, M.Sc. |  |Pembimbing I |
| 2. Herry Sufyan Hadi, S.T, M.T. |  |Pembimbing II |
| 3. Sefi Novendra P., S.Si., M.T. |  |Dosen Penguji |

SURABAYA
JULI, 2018

Halaman ini sengaja dikosongkan

**RANCANG BANGUN SISTEM PENGENDALIAN
TEMPERATURE – FLOW PADA HEAT EXCHANGER
MINIPLANT DESALINATION WATER SECARA CASCADE
CONTROL**

Nama : Ananta Ariska Ocseano
NRP : 10511500000022
Program Studi : D3 Teknologi Instrumentasi
Departemen : Teknik Instrumentasi
Dosen Pembimbing : Detak Yan Pratama, ST.,M.Sc.
Herry Sufyan Hadi, ST, MT.

ABSTRAK

Dalam dunia industri nyata, banyak kebutuhan proses yang tidak dapat diselesaikan dengan *loop* sederhana yang hanya mengandalkan sebuah mata rantai *feedback*. Contoh paling nyata adalah pengendalian suhu pada *heat exchanger* dalam proses Desalinasi. Pada judul tugas akhir ini dibahas mengenai bagaimana mengendalikan *temperature outlet Heat Exchanger* dengan manipulasi *flow inlet Heat Exchanger* yang dijaga temperaturnya pada titik 120 derajat Celsius. Komponen penunjang yang digunakan meliputi sensor *Thermocouple Type K*, sensor *Water Flow*, Aktuator berupa *Ball Valve* yang digerakkan oleh *Motor Servo*, mikrokontroler berupa ATMega1280, dan tampilan visual berupa LCD 16x4 untuk *flow* dan bukaan *valve*, dan HMI (*Human Machine Interface*) pada PC (*Personal Computer*) untuk *temperature*. Pada sistem pengendalian *temperature – flow* secara *cascade control* ini mempunyai nilai *maximum overshoot (Mp)* sebesar 4,83 %, *Settling Time (Ts)* selama 300 s, dan *Error Steady State (Ess)* sebesar 4,4 %.

Kata Kunci: Desalinasi, Heat Exchanger, Tube Spiral, Servo, Valve

Halaman ini sengaja dikosongkan

***DESIGN AND BUILD OF TEMPERATURE – FLOW
CASCADE CONTROL SYSTEM IN THE MINIPLANT
DESALINATION WATER’S HEAT EXCHANGER***

Name : Ananta Ariska Ocseano
NRP : 10511500000022
Study Program : D3 Instrumentation Technology
Department : Instrumentation Engineering
Supervisor : Detak Yan Pratama, ST.,M.Sc.
Herry Sufyan Hadi, ST, MT.

ABSTRACT

In the real world of industry, many process needs can not be solved with simple loops that rely on a single feedback link. The most obvious example is the temperature control of the heat exchanger in the desalination process. In this Final Project title discussed about how to controlling temperature outlet Heat Exchanger with flow inlet Heat Exchanger manipulation which kept it temperature at a setpoint 120 Celsius degrees. The supporting components used include Thermocouple Type K sensor, Water Flow sensor, Actuator of Ball Valve driven by Motor Servo, microcontroller of ATmega1280, and visual display of 16x4 LCD for flow and valve opening, and HMI (Human Machine Interface) on PC (Personal Computer) for temperature. The temperature – flow cascade control system has a maximum overshoot (Mp) value of 4.83%, Settling Time (Ts) for 300 s, and Error Steady State (Ess) of 4.4%.

Key Words: Desalination, Heat Exchanger, Tube Spiral, Servo, Valve

Halaman ini sengaja dikosongkan

Kata Pengantar

Puji syukur kehadiran Allah SWT atas berkat, rahmat dan kebesaran-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir dengan judul “Rancang Bangun Sistem Pengendalian Temperatur - Flow pada Heat Exchanger Miniplant Desalination Water secara Cascade Control” tepat pada waktunya. Selama menyelesaikan tugas akhir ini penulis telah banyak mendapatkan bantuan dari berbagai pihak. Oleh karena itu pada kesempatan ini penulis ingin mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada :

1. Bapak Dr. Ir. Purwadi Agus Darwito, M.Sc selaku Kepala Departemen Teknik Instrumentasi ITS yang telah memberikan semangat dan motivasi
2. Dr.Ir. Syamsul Arifin, ST.MT. selaku dosen wali selama 3 tahun di ITS
3. Bapak Detak Yan Pratama, ST. M.Sc. dan Bapak Herry Sufyan Hadi, ST, MT. selaku dosen pembimbing yang telah meluangkan waktu, arahan dan saran yang membantu selama proses pengerjaan tugas akhir.
4. Bapak Dr. Ir. Totok Soehartanto, DEA, selaku Kepala Laboraturium Workshop Instrumentasi yang telah memberikan izin menggunakan lab workshop instrumentasi sebagai tempat pengerjaan tugas akhir kami.
5. Orang tua tercinta yang telah memberikan segala dukungan baik moral maupun materil serta dukungan yang sangat luar biasa
6. Terimakasih kepada mbak dan mas yang telah mendukung, memberikan motivasi selama ini. Terimakasih kepada DESALINATION TEAM, Helmi, Putu, Ifan, Yunita, Gusti Ayu dan Khammamah yang bersama-sama berjuang dalam pengerjaan tugas akhir ini

7. Teman-teman tercinta Workshop Instrumentasi 2015 yang selalu senantiasa memberikan semangat dan semua pihak yang telah membantu terselesaikannya Tugas Akhir ini,
8. Serta semua pihak yang tidak dapat penulis sebutkan satu persatu.

Penulis menyadari bahwa kesempurnaan hanya milik Allah SWT. Oleh sebab itu, penulis sangat berterimakasih atas segala masukan, kritik dan saran yang membangun dari pembaca agar laporan ini menjadi lebih baik untuk di kemudian hari. Demikian laporan ini penulis buat, semoga laporan ini dapat memberikan manfaat selain bagi penulis sendiri, dan bagi pembaca sekalian.

Surabaya, 16 Juli 2018

DAFTAR ISI

Halaman Judul	i
<i>Title of Page</i>	iii
Lembar Pengesahan I.....	v
Lembar Pengesahan II.....	vii
Abstrak.....	ix
<i>Abstract</i>	xi
Kata Pengantar.....	xiii
Daftar Isi	xv
Daftar Tabel.....	xvii
Daftar Gambar	xix
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Permasalahan	2
1.3 Tujuan.....	2
1.4 Batasan Masalah.....	2
1.5 Sistematika Laporan	2
BAB II DASAR TEORI.....	5
2.1 Desalination Plant	5
2.2 Spiral Tube Heat Exchanger	6
2.3 Sistem Pengendalian <i>Temperature – Flow</i> secara <i>Cascade</i>	7
2.4 <i>Water Flow Sensor</i>	8
2.5 <i>Sensor Thermocouple Type K</i>	9
2.6 Mikrokontroler ATmega1280.....	10
2.7 <i>Motor Servo</i>	11
2.8 LCD (<i>Liquid Crystal Display</i>)	12
2.9 PID Control.....	13
2.9.1 Kontrol Proportional	14
2.9.2 Kontrol Integral	15
2.9.3 Kontrol Derivative	16

2.10 Ketidakpastian Pengukuran	17
2.10.1 Analisa Tipe A.....	17
2.10.2 Analisa Tipe B	18
2.10.3 Ketidakpastian Kombinasi	18
2.10.4 Ketidakpastian Diperluas	19
2.11 Karakteristik Statik.....	20
BAB III PERANCANGAN & PEMBUATAN ALAT	25
3.1 Perancangan Sistem.....	25
3.2 Metodologi Percobaan.....	26
3.2.1 Studi Literatur.....	26
3.2.2 Perancangan Sistem Pengendalian secara <i>Cascade</i>	27
3.2.3 Perencanaan Komponen	29
3.2.4 Integrasi Sensor dan Aktuator	43
3.2.5 Uji Coba Plant	43
3.2.6 <i>Troubleshooting</i>	43
3.2.7 Analisis Data & Penarikan Kesimpulan.....	43
BAB IV ANALISA DATA & PEMBAHASAN.....	45
4.1 Pengujian Sensor <i>Thermocouple</i>	45
4.2 Pengujian Sensor <i>Water Flow</i>	50
4.3 Data Pengujian Alat	53
4.4 Pembahasan	57
BAB V PENUTUP	61
5.1 Kesimpulan	61
5.2 Saran.....	61
Daftar Pustaka	
LAMPIRAN	

Daftar Tabel

Tabel 3.1 Konfigurasi Port pada ATMega1280	32
Tabel 4.1 Uji Sensor Thermocouple	45
Tabel 4.2 Pengujian Sensor Water Flow	50
Tabel 4.3 Data Respon Sensor Thermocouple terhadap Waktu.....	53
Tabel 4.4 Data Respon Water Flow Sensor terhadap waktu	55
Tabel 4.4 Data Respon Aktuator terhadap Sensor.....	56

Halaman ini sengaja dikosongkan

Daftar Gambar

Gambar 2.1 Desain 3D Mini Desalination Water Plant.....	5
Gambar 2.2 Spiral Tube Heat Exchanger	6
Gambar 2.3 Blok Diagram Sistem Pengendalian secara <i>Cascade</i>	8
Gambar 2.4 <i>Water Flow Sensor</i>	8
Gambar 2.5 <i>Thermocouple</i>	9
Gambar 2.6 Mikrokontroller DT-AVR ATmega1280.....	10
Gambar 2.7 Komponen Motor Servo	11
Gambar 2.8 Konfigurasi Pin LCD 16 x 2	11
Gambar 2.9 Diagram Blok PID.....	13
Gambar 2.10 Linieritas dan Nonlinieritas.....	21
Gambar 2.11 Sensitivitas Termocouple.....	21
Gambar 2.12 Histerisis	22
Gambar 2.13 (a) Modifying dan (b) Interfering Input	23
Gambar 3.1(A) dan (B) Skema <i>Flowchart</i> Tugas Akhir.....	25
Gambar 3.2 Desain <i>Plant Heat Exchanger</i>	27
Gambar 3.3 P&ID Cascade pada Temperature – Flow HE ...	28
Gambar 3.4 Desain 3D Miniplant Desalination Water	28
Gambar 3.5 Diagram Blok Hardware Elektrik	31
Gambar 3.6 Rangkaian Simulasi Proteus	32
Gambar 3.7 AVR ATmega1280	33
Gambar 3.8 Max6675 Thermocouple Type K	34
Gambar 3.9 Sensor Thermocouple pada plant	37
Gambar 3.10 Water Flow Sensor	38
Gambar 3.11 Sensor Water Flow pada Plant	41
Gambar 3.12 Motor Servo	42
Gambar 3.13 Motor Operated Valve	42
Gambar 3.14 Power Supply 5 VDC	43
Gambar 4.1 Miniplant Desalination Water	45
Gambar 4.2 Grafik Pembacaan Naik & Turun Sensor Thermocouple.....	47

Gambar 4.3	Grafik Kalibrasi Sensor Water Flow	50
Gambar 4.4	Respon Sensor Thermocouple terhadap waktu ..	54
Gambar 4.5	Respon Water Flow Sensor terhadap waktu	56
Gambar 4.6	Grafik respon Aktuator	57
Gambar 4.7	Pemasangan Sensor Suhu	58
Gambar 4.8	Pemasangan Sensor Water Flow	59

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Dalam dunia industri nyata, banyak kebutuhan proses yang tidak dapat diselesaikan dengan *loop* sederhana yang hanya mengandalkan sebuah mata rantai *feedback*. Contoh paling nyata adalah pengendalian suhu pada *heat exchanger* dalam proses Desalinasi. Sistem pengendalian kemudian diperbaiki dengan menambahkan pengendali *flow* diantara pengendali suhu dan *Final Control Element*. Jadi, *manipulated variable* (variabel yang dimanipulasi) dari pengendali suhu menjadi *set point* bagi pengendali aliran. Konfigurasi pengendalian semacam inilah yang lazim disebut *cascade control* (pengendalian bertingkat).^[1]

Desalinasi merupakan suatu proses menghilangkan kadar garam berlebih dalam air untuk mendapatkan air yang dapat dikonsumsi makhluk hidup. Seringkali proses ini juga menghasilkan garam dapur sebagai hasil sampingan. Desalinasi merupakan proses untuk memperoleh air dengan tingkat kemurnian tinggi atau untuk memperoleh air bersih dari air yang memiliki kadar garam tinggi, seperti pada air laut.

Pada *Mini Plant Desalination Water* terdapat beberapa variabel proses yang dapat dikendalikan, salah satunya adalah suhu dan aliran. Maka dari itu akan dirancang sebuah Sistem Pengendalian *Temperature – Flow* pada *Heat Exchanger Miniplant Desalination Water* dengan *cascade control*. Sistem pada *Mini Desalination Water Plant* ini memerlukan setpoint dari *temperature outlet* dengan memanipulasi *flowrate inlet Heat Exchanger*. Dari beberapa uraian diatas maka dibuatlah Tugas Akhir dengan judul Rancang Bangun Sistem Pengendalian *Temperature – Flow* pada *Heat Exchanger Miniplant Desalination Water* dengan *Cascade Control*.

1.2 Rumusan Permasalahan

Berdasarkan latar belakang yang dijelaskan diatas, maka rumusan masalah dalam Tugas Akhir ini adalah :

1. Bagaimana merancang sebuah sistem pengendalian *temperature – flow* pada HE *miniplant desalination water* dengan metode *cascade control*?
2. Bagaimana proses pengendalian *temperature* dengan manipulasi *flow* secara *cascade* pada *mini desalination water plant*?

1.3 Tujuan

Tujuan utama dari rancang bangun alat ini adalah memberikan solusi pada rumusan masalah yaitu :

1. Menghasilkan sebuah sistem pengendalian *temperature – flow* pada HE *miniplant desalination water* dengan metode *cascade control*.
2. Mengetahui proses pengendalian *temperature* dengan manipulasi *flow* secara *cascade* pada *mini desalination water plant*.

1.4 Batasan Masalah

Adapun ruang lingkup dari penelitian tugas akhir ini yaitu mengenai sistem pengendalian *temperature – flow* pada HE *miniplant desalination water* dengan metode *cascade control* menggunakan mikrokontroler AVR ATmega1280, Sensor *Thermocouple Type K*, Sensor *Water Flow* dan *Final Control Element* berupa Motor Operated Valve.

1.5 Sistematika Laporan

Adapun sistematika dalam laporan tugas akhir ini adalah disusun dengan perincian sebagai berikut:

BAB I Pendahuluan

Bab I menjelaskan tentang latar belakang, rumusan masalah, tujuan, batasan masalah, sistematika laporan, dan manfaat dari Tugas Akhir.

BAB II Tinjauan Pustaka

Bab II mengulas dasar teori yang digunakan sebagai acuan tugas akhir. Bab ini berisi ulasan dari Desalinasi, *Heat Exchanger*, *Water Flow Sensor Model EGO A-7.5Q*, *Thermocouple Type K*, DT- AVR Mikrokontroller atmega1280, LCD 16x2, dan teori penunjang yang lain.

BAB III Perancangan dan Pembuatan Alat

Bab III ini membahas terkait dari perancangan alat dan pembuatan alat yang diulas secara detail dari proses awal pembuatan alat sampai tahap akhir pembuatan alat.

BAB IV Pengujian dan Analisa

Bab IV mengulas hasil data yang diporeh dari alat. Bab ini menjelaskan kinerja dari alat untuk mengetahui kemampuan alat.

BAB V Kesimpulan dan Saran

Bab ini berisikan kesimpulan dan saran yang dapat digunakan untuk rekomendasi tugas akhir atau pengembangan selanjutnya.

1.6 Manfaat

Adapun manfaat yang dapat diperoleh dari tugas akhir ini yaitu :

1. Tugas akhir ini dapat dijadikan untuk bekal bagi peserta untuk kedepannya dalam menghadapi dunia tentang industri yang terkait dengan sistem kontrol.
2. Tugas akhir ini dapat dijadikan sebagai ajang menambah pengetahuan bagi adik tingkat di program studi D3 Teknik Instrumentasi tentang sistem kontrol.

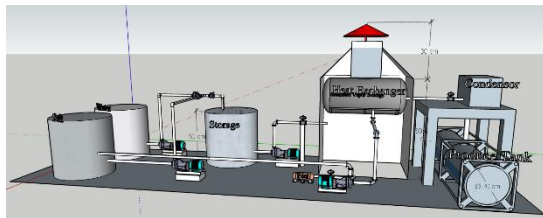
Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB II

DASAR TEORI

2.1 *Desalination Plant*

Desalinasi adalah proses pemurnian atau pengurangan garam terlarut di dalam air laut yang lebih besar dari 1000 ppm hingga 40.000 ppm menjadi air tawar dengan konsentrasi garam terlarut di bawah 1000 ppm.^[2] Desalinasi secara luas diadopsi dari Timur Tengah, Negara Arab, Amerika Utara, Asia, Eropa, Afrika, Amerika Tengah, Amerika Selatan dan Australia untuk memenuhi kebutuhan air bersih dan kebutuhan pengolahan air. Hampir 10000 ton minyak dibutuhkan setiap tahun untuk memproduksi 1000 m³/hari air bersih.^[3] Sistem desalinasi konvensional yang dioperasikan dengan menggunakan bahan bakar fosil juga turut berkontribusi emisi rumah kaca atau GHG (Green House Gas).^[4] Sistem desalinasi yang pertama kali adalah *Multi Stage Flash* (MSF) yang menggunakan sumber energy panas dan *Reverse Osmosis* (RO) dengan *membran* yang kestabilannya rendah dimana biaya kapitalnya masih tergolong tinggi. Sistem yang menjanjikan dan menyajikan harga produk air yang rendah adalah RO dengan *membran* dan sistem hibrida seperti MED yang dikombinasi dengan kompresi uap (VC=*Vapor Compression*). Sistem Desalinasi MSF telah banyak diaplikasikan di beberapa negara. Walaupun biaya investasinya tinggi tetapi biaya perawatannya relatif rendah.

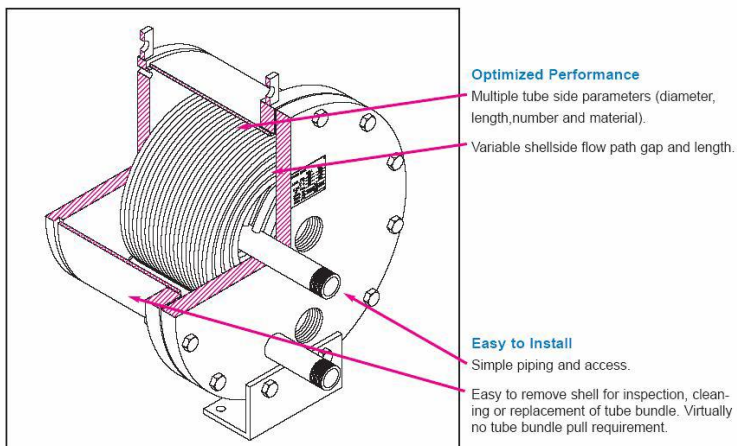


Gambar 2.1 Desain 3D *Mini Desalination Water Plant*

2.2 *Spiral Tube Heat Exchanger*

Heat Exchanger atau sering kita sebut Alat Penukar Panas merupakan alat yang berfungsi untuk memindahkan energi panas antara dua atau lebih fluida dan terjadi pada temperatur yang berbeda antara fluida, dimana fluida tersebut ada yang bertindak sebagai fluida panas (*hot fluid*) dan yang lain bertindak sebagai fluida dingin (*cold fluid*). *Heat Exchanger* dapat digunakan sebagai pemanas (*regenerator*) maupun sebagai pendingin (*recuperator*) tergantung pada tinjauan perpindahan panas yang terjadi. [5]

Spiral Tube Heat Exchanger mampu melakukan pertukaran panas dengan lebih baik karena memiliki efisiensi transfer panas yang jauh lebih padat dan tinggi. *Spiral tube heat exchanger* terdiri dari satu atau lebih spiral gulungan dengan pola melingkar, tersambung ke bagian Header dimana fluida mengalir. Gulungan spiral ini dipasang dalam *shell* fluida lainnya yang disirkulasikan di sekitar bagian luar *tube*, yang mana akan menyebabkan transfer panas antara dua fluida tersebut. [8]



Gambar 2.2 *Spiral Tube Heat Exchanger*^[8]

Besarnya laju perpindahan panas atau potensial panasnya dihitung dengan menggunakan rumus keseimbangan energi dengan persamaan sebagai berikut :

$$Q_h = m_h \times c_{ph} \times (T_{h1} - T_{h2}) \dots \dots \dots 2.1$$

Q_h = Heat transfer rate of hot side (kw)

m_h = Mass flow rate of the hot fluid (m/s)

c_{ph} = Specific heat of hot fluid (kj / kg k)

Perhitungan aliran dalam tahap ini dapat dihitung dengan Teori Heat Exchanger (alat penukar panas) persamaan sebagai berikut :

$$Q = U \times A \times \Delta T_m \dots \dots \dots 2.2$$

$$\Delta T_m = (T_{h1} - T_{c2}) - (T_{h2} - T_{c1}) / \ln(T_{h1} - T_{c2}) / (T_{h2} - T_{c1})$$

ΔT_m = Log mean temperature different (°C)

T_{h1} = Inner temperature of hot fluid (°C)

T_{c2} = Outer temperature of cold fluid (°C)

T_{h2} = Outer temperature of hot fluid (°C)

T_{c1} = Inner temperature of cold fluid (°C)

A = Heat Transfer Area (m²) (ft²)

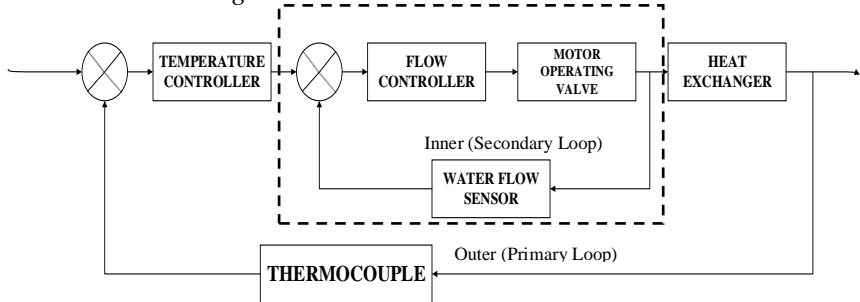
Q = Heat transfer rate (kJ/h) (Btu\h)

U = Overall heat transfer coefficient (kJ/h.m².°C) (Btu/h°F)

2.3 Sistem Pengendalian *Temperature – Flow secara Cascade*

Metode *Cascade Control* sangat diperhatikan pada proses ini untuk menjaga kestabilan *temperature outlet* dengan manipulasi *flowrate inlet Heat Exchanger mini desalination water plant*. Pada pengendalian *flow* dan *temperature desalination water plant* menggunakan sensor suhu berupa *Thermocouple* dan *Water Flow Sensor* serta *controller* berupa mikrokontroller AVR Atmega1280, mikrokontroller mengolah data dari sensor untuk selanjutnya digunakan untuk mengatur bukaan *Final Control Element* untuk manipulasi masukan *flow* yang masuk pada *Heat Exchanger* agar *temperature* keluaran *Heat Exchanger* tetap terjaga sesuai setpoint.

Berikut adalah diagram blok sistem pengendalian *temperature outlet Heat Exchanger* secara *cascade* :



Gambar 2.3 Blok Diagram Sistem Pengendalian secara *Cascade*

2.4 Water Flow Sensor

Water Flow Sensor merupakan alat ukur yang digunakan untuk mengukur laju aliran atau jumlah suatu fluida yang bergerak mengalir dalam suatu pipa tertutup atau saluran terbuka seperti *channel* atau sungai atau parit atau gorong-gorong.



Gambar 2.4 *Water Flow Sensor*

Dalam aplikasinya penggunaan *flow sensor* untuk mengukur aliran baik berupa kecepatan aliran, kapasitas aliran maupun volumenya atau beratnya fluida mempunyai aplikasi yang bermacam macam. Aplikasi penggunaan *water flow sensor*

tergantung pada tujuan, manfaat, kendala yang tergantung pada situasi yang dibutuhkan rekayasa sehingga pemasangan *flow sensor* tersebut sesuai dengan tujuan dan manfaatnya. Paling banyak *flow sensor* digunakan untuk mengukur aliran air dan gas karena itu istilah *flow sensor* air dan gas cukup populer di masyarakat.

Air yang mengalir akan melewati katup dan akan membuat rotor magnet berputar dengan kecepatan tertentu sesuai dengan tingkat aliran yang mengalir. Medan magnet yang terdapat pada rotor akan memberikan efek pada sensor *hall effect* dan itu akan menghasilkan sebuah sinyal pulsa yang berupa tegangan (*Pulse Width Modulator*).

Output dari pulsa tegangan memiliki tingkat tegangan yang sama dengan input dengan frekuensi laju aliran air. Sinyal tersebut dapat diolah menjadi data digital melalui pengendali atau mikrokontroler.

2.5 Sensor Thermocouple

Prinsip kerja Termokopel cukup mudah dan sederhana. Pada dasarnya Termokopel hanya terdiri dari dua kawat logam konduktor yang berbeda jenis dan digabungkan ujungnya. Satu jenis logam konduktor yang terdapat pada Termokopel akan berfungsi sebagai referensi dengan suhu konstan (tetap) sedangkan yang satunya lagi sebagai logam konduktor yang mendeteksi suhu panas.

Termokopel (Thermocouple)



Gambar 2.5 Thermocouple

Keluaran dari *thermocouple* berupa milivolt maka dari itu keluaran *thermocouple* harus dikuatkan dengan modul tambahan yaitu MAX6675 yang kemudian baru bisa dibaca oleh *microcontroller*.

Berdasarkan gambar 2.5 diatas, ketika kedua persimpangan atau Junction memiliki suhu yang sama, maka beda potensial atau tegangan listrik yang melalui dua persimpangan tersebut adalah “NOL” atau $V_1 = V_2$. Akan tetapi, ketika persimpangan yang terhubung dalam rangkaian diberikan suhu panas atau dihubungkan ke obyek pengukuran, maka akan terjadi perbedaan suhu diantara dua persimpangan tersebut yang kemudian menghasilkan tegangan listrik yang nilainya sebanding dengan suhu panas yang diterimanya atau $V_1 - V_2$. Tegangan Listrik yang ditimbulkan ini pada umumnya sekitar $1 \mu\text{V} - 70 \mu\text{V}$ pada tiap derajat Celcius. Tegangan tersebut kemudian dikonversikan sesuai dengan Tabel referensi yang telah ditetapkan sehingga menghasilkan pengukuran yang dapat dimengerti.

2.6 Mikrokontroler ATmega1280

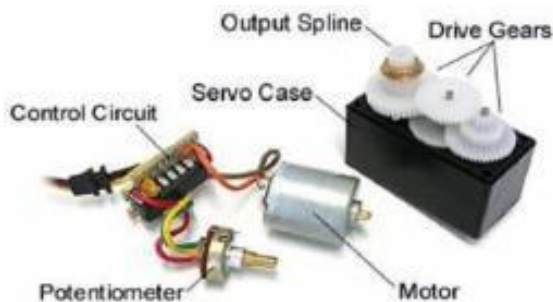
Mikrokontroler adalah suatu alat elektronika digital yang mempunyai masukan dan keluaran serta kendali dengan program yang bisa ditulis dan dihapus dengan cara khusus, cara kerja mikrokontroler sebenarnya membaca dan menulis data. Mikrokontroler adalah sebuah komputer didalam chip yang digunakan untuk mengontrol peralatan elektronik. Mikrokontroler itu sejenis mikroprosesor yang menekankan efisiensi dan efektifitas biaya. Secara harfiahnya adalah "pengendali kecil" dimana sebuah sistem elektronik yang sebelumnya banyak memerlukan komponen-komponen pendukung seperti IC TTL dan CMOS dapat direduksi / diperkecil dan akhirnya terpusat serta dikendalikan oleh mikrokontroler ini.



Gambar 2.6 Mikrokontroller DT-AVR ATmega1280

2.7 Motor Servo

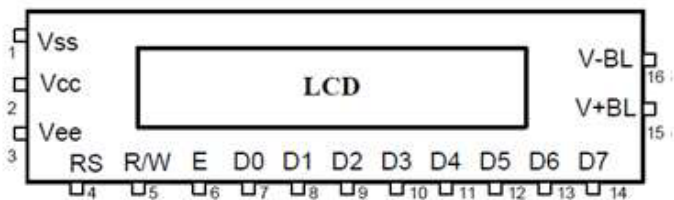
Motor servo adalah sebuah perangkat atau aktuator putar (motor) yang dirancang dengan sistem kontrol umpan balik loop tertutup (servo), sehingga dapat di set-up atau di atur untuk menentukan dan memastikan posisi sudut dari poros output motor untuk menggerakkan *valve*. Motor servo terdiri dari motor DC, serangkaian *gear*, rangkaian kontrol dan potensiometer. Potensiometer berfungsi untuk menentukan batas sudut dari putaran servo. Sedangkan sudut dari sumbu motor servodiaturnya berdasarkan lebar pulsa yang dikirim melalui kaki sinyal dari kabel motor.



Gambar 2.7 Komponen Motor Servo

2.8 LCD (*Liquid Crystal Display*)

LCD (*Liquid Cristal Display*) adalah sebuah teknologi yang berfungsi sebagai penampil atau monitor . Modul LCD dengan tampilan 16x4, terdiri dari dua bagian. Pada bagian pertama merupakan panel LCD sebagai media untuk menampilkan informasi berbentuk huruf, simbol maupun angka. LCD 16x4 dapat menampung dua baris, dimana tiap baris dapat menampilkan 16 karakter. Bagian kedua merupakan rangkaian elektronika yang dibentuk dengan mikrokontroler, berada di balik panel LCD. Bagian ini mempunyai fungsi mengatur tampilan informasi serta berfungsi mengatur komunikasi LCD dengan mikrokontroler[10]. Berikut ini konfigurasi LCD 16x4 serta penjelasannya :



Gambar 2.8 Konfigurasi Pin LCD 16 x 4

Berikut ini karakteristik dari LCD (16x2) :

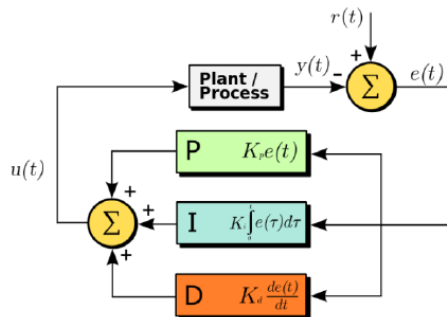
1. Tampilan 16 karakter, 4 baris.
2. ROM pembangkit karakter 192 jenis.
3. RAM pembangkit karakter 8 jenis (program pemakai).
4. RAM data tampilan 80 x 8 bit (8 karakter).
5. *Duty ratio* 1/16.
6. RAM data tampilan dan RAM pembangkit karakter dapat dibaca dari unit mikro-prosesor.
7. Beberapa fungsi perintah antara lain adalah penghapusan tampilan (*display clear*), posisi krusor awal (*crusor home*), tampilan karakter kedip (*display character blink*), penggeseran krusor (*crusor shift*) dan penggeseran tampilan (*display shift*).
8. Rangkaian pembangkit detak (*clock*).

9. Rangkaian otomatis reset saat daya dinyalakan.
10. Catu daya tunggal +5 volt.

2.9 PID Control

Instrumentasi dan control industri tentu tidak lepas dari sistem instrumentasi sebagai pengontrol yang digunakan dalam keperluan pabrik. Sistem kontrol pada pabrik tidak lagi manual seperti dahulu, tetapi saat sekarang ini telah dibantu dengan perangkat kontroler sehingga dalam proses produksinya suatu pabrik bisa lebih efisien dan efektif. Kontroler juga berfungsi untuk memastikan bahwa setiap proses produksi terjadi dengan baik.

PID (Proportional – Integral – Derivative controller) merupakan kontroler untuk menentukan presisi suatu sistem instrumentasi dengan karakteristik adanya umpan balik pada sistem tersebut. Pengontrol PID adalah pengontrol konvensional yang banyak dipakai dalam dunia industri.^[6] Pengontrol PID akan memberikan aksi kepada Control Valve berdasarkan besar error yang diperoleh. *Control valve* akan menjadi aktuatur yang mengatur aliran fluida dalam proses industri yang terjadi Level air yang diinginkan disebut dengan Set Point. Error adalah perbedaan dari Set Point dengan level air aktual. Pada gambar 2.9 menunjukkan bentuk diagram blok PID untuk lebih mudah memahami prinsip kerja kontroler PID. PID Blok Diagram dapat dilihat pada gambar dibawah :



Gambar 2.9 Diagram Blok PID

Adapun persamaan Pengontrol PID adalah :

$$mv(t) = K_p \left(e(t) + \frac{1}{T_i} \int_0^t e(t) dt + T_d \frac{de(t)}{dt} \right) \dots\dots\dots 2.3$$

Keterangan :

$mv(t)$ = output dari pengontrol PID atau MV

K_p = Konstanta Proporsional

T_i = Konstanta Integral

T_d = Konstanta Derivatif

$e(t)$ = Error (SV - PV)

Persamaan Pengontrol PID diatas dapat juga dituliskan sebagai berikut:

$$K_i = K_p \times \frac{1}{T_i} \text{ dan } K_d = K_p \times T_d \dots\dots\dots 2.4$$

Untuk lebih memaksimalkan kerja pengontrol diperlukan nilai batas minimum dan maksimum yang akan membatasi nilai *Manipulated Variable* yang dihasilkan.

Komponen kontrol PID ini terdiri dari tiga jenis yaitu Proportional, Integratif dan Derivatif. Ketiganya dapat dipakai bersamaan maupun sendiri-sendiri tergantung dari respon yang kita inginkan terhadap suatu plant.

2.9.1 Kontrol Proporsional

Kontrol P jika $G(s) = k_p$, dengan k adalah konstanta. Jika $u = G(s) \cdot e$ maka $u = K_p \cdot e$ dengan K_p adalah Konstanta Proporsional. K_p berlaku sebagai Gain (penguat) saja tanpa memberikan efek dinamik kepada kinerja kontroler. Penggunaan kontrol P memiliki berbagai keterbatasan karena sifat kontrol yang tidak dinamik ini. Walaupun demikian dalam aplikasi-aplikasi dasar yang sederhana kontrol P ini cukup mampu untuk memperbaiki respon transien khususnya rise time dan settling time. Pengontrol proporsional memiliki keluaran yang sebanding/proporsional dengan besarnya sinyal kesalahan (selisih antara besaran yang diinginkan dengan harga aktualnya).

Ciri-ciri pengontrol proporsional :

1. Jika nilai K_p kecil, pengontrol proporsional hanya mampu melakukan koreksi kesalahan yang kecil, sehingga akan menghasilkan respon sistem yang lambat (menambah rise time).
2. Jika nilai K_p dinaikkan, respon/tanggapan sistem akan semakin cepat mencapai keadaan mantapnya (mengurangi rise time).
3. Namun jika nilai K_p diperbesar sehingga mencapai harga yang berlebihan, akan mengakibatkan sistem bekerja tidak stabil atau respon sistem akan berosilasi.
4. Nilai K_p dapat diset sedemikian sehingga mengurangi steady state error, tetapi tidak menghilangkannya.

2.9.2 Kontrol Integral

Pengontrol Integral berfungsi menghasilkan respon sistem yang memiliki kesalahan keadaan mantap nol (Error Steady State=0). Jika sebuah pengontrol tidak memiliki unsur integrator, pengontrol proporsional tidak mampu menjamin keluaran sistem dengan kesalahan keadaan mantapnya nol.

Jika $G(s)$ adalah kontrol I maka u dapat dinyatakan sebagai $u(t) = \left[\int e(t) dt \right] K_i$ dengan K_i adalah konstanta Integral, dan dari persamaan di atas, $G(s)$ dapat dinyatakan sebagai $u = K_d \cdot \left[\frac{e}{\Delta t} \right]$ Jika $e(T)$ mendekati konstan (bukan nol) maka $u(t)$ akan menjadi sangat besar sehingga diharapkan dapat memperbaiki error. Jika $e(T)$ mendekati nol maka efek kontrol I ini semakin kecil. Kontrol I dapat memperbaiki sekaligus menghilangkan respon steady-state, namun pemilihan K_i yang tidak tepat dapat menyebabkan respon transien yang tinggi sehingga dapat menyebabkan ketidakstabilan sistem. Pemilihan K_i yang sangat tinggi justru dapat menyebabkan output berosilasi karena menambah orde sistem.

Keluaran pengontrol ini merupakan hasil penjumlahan yang terus menerus dari perubahan masukannya. Jika sinyal kesalahan tidak mengalami perubahan, maka keluaran akan menjaga keadaan seperti sebelum terjadinya perubahan masukan. Sinyal keluaran pengontrol integral merupakan luas bidang yang dibentuk oleh kurva kesalahan / error.

Ciri-ciri pengontrol integral :

1. Keluaran pengontrol integral membutuhkan selang waktu tertentu, sehingga pengontrol integral cenderung memperlambat respon.
2. Ketika sinyal kesalahan berharga nil, keluaran pengontrol akan bertahan pada nilai sebelumnya.
3. Jika sinyal kesalahan tidak berharga nol, keluaran akan menunjukkan kenaikan atau penurunan yang dipengaruhi oleh besarnya sinyal kesalahan dan nilai K_i .
4. Konstanta integral K_i yang berharga besar akan mempercepat hilangnya offset. Tetapi semakin besar nilai konstanta K_i akan mengakibatkan peningkatan osilasi dari sinyal keluaran pengontrol.

2.9.3 Kontrol Derivative

Keluaran pengontrol diferensial memiliki sifat seperti halnya suatu operasi derivatif. Perubahan yang mendadak pada masukan pengontrol akan mengakibatkan perubahan yang sangat besar dan cepat. Ketika masukannya tidak mengalami perubahan, keluaran pengontrol juga tidak mengalami perubahan, sedangkan apabila sinyal masukan berubah mendadak dan menaik (berbentuk fungsi *step*), keluaran menghasilkan sinyal berbentuk impuls. Jika sinyal masukan berubah naik secara perlahan (fungsi *ramp*), keluarannya justru merupakan fungsi *step* yang besar magnitudenya sangat dipengaruhi oleh kecepatan naik dari fungsi *ramp* dan factor konstanta K_d .

Ciri-ciri pengontrol derivatif :

1. Pengontrol tidak dapat menghasilkan keluaran jika tidak ada perubahan pada masukannya (berupa perubahan sinyal kesalahan)
2. Jika sinyal kesalahan berubah terhadap waktu, maka keluaran yang dihasilkan pengontrol tergantung pada nilai K_d dan laju perubahan sinyal kesalahan.
3. Pengontrol diferensial mempunyai suatu karakter untuk mendahului, sehingga pengontrol ini dapat menghasilkan koreksi yang signifikan sebelum pembangkit kesalahan menjadi sangat besar. Jadi pengontrol diferensial dapat mengantisipasi pembangkit kesalahan, memberikan aksi yang bersifat korektif dan cenderung meningkatkan stabilitas sistem.
4. Dengan meningkatkan nilai K_d , dapat meningkatkan stabilitas sistem dan mengurangi *overshoot*.

Berdasarkan karakteristik pengontrol ini, pengontrol diferensial umumnya dipakai untuk mempercepat respon awal suatu sistem, tetapi tidak memperkecil kesalahan pada keadaan tunaknya. Kerja pengontrol diferensial hanyalah efektif pada lingkup yang sempit, yaitu pada periode peralihan. Oleh sebab itu pengontrol diferensial tidak pernah digunakan tanpa ada kontroler lainnya.^[6]

2.10 Ketidakpastian Pengukuran

Dalam pengukuran terdapat ketidakpastian ukur yang merupakan parameter yang berhubungan dengan hasil pengukuran yang mengkarakteristikan (memberikan sifat) penyebaran nilai – nilai layak dan dikaitkan dengan besaran ukur.

Untuk mengevaluasi masing- masing sumber ketidakpastian tersebut diperlukan analisa dengan menggunakan metoda Statistik, yang disebut analisa type A, dan menggunakan selain metode statistik yang disebut dengan Analisa type B.

2.10.1 Analisa Tipe A

Pada tipe ini biasanya ditandai dengan adanya data pengukuran, misalnya n kali pengukuran, maka selanjutnya dari data tersebut, akan ditemukan nilai rata-ratanya, standar deviasinya, dan atau repeatabilitynya. Bentuk kurva dari tipe ini adalah sebaran Gauss. Rumus umum ketidakpatian untuk tipe A ini adalah :

$$Ua1 = \frac{\sigma}{\sqrt{n}} \dots\dots\dots 2.5$$

Dimana :

σ = Standar deviasi

n = Banyaknya data

Rumus standar deviasi sendiri adalah yaitu adalah sebagai berikut :

$$\sigma = \frac{\sqrt{\sum(y_i - \bar{y})^2}}{n-1} \dots\dots\dots 2.6$$

Dimana:

y_i = nilai koreksi ke-i

\bar{y} = rata-rata nilai koreksi

Ketidakpastian $Ua2$ dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut :

$$Ua2 = \sqrt{\frac{SSR}{n-2}} \dots\dots\dots 2.7$$

Dimana:

SSR (*Sum Square Residual*) = $\sum SSR$ (*Square Residual*)

SR = R_2 (*Residu*)

$$SSR = \sum R^2 \dots\dots\dots 2.8$$

$$R = Y_i - Y_{REG} \dots\dots\dots 2.9$$

$$Y_{REG} = a + bX_i \dots\dots\dots 2.10$$

$$a = \bar{y} + (b\bar{x}) \dots\dots\dots 2.11$$

$$b = \frac{n\sum x_i y_i - \sum x_i \sum y_i}{n\sum x_i^2 - (\sum x_i)^2} \dots\dots\dots 2.12$$

2.10.2 Analisa Tipe B

Analisa type B ini diperoleh berdasarkan sertifikat kalibrasi atau spesifikasi dari alat ukur. Adapun persamaannya adalah sebagai berikut :

UB₁ (Ketidakpastian alat ukur) :

$$\frac{\frac{1}{2} x \text{ Resolusi}}{\sqrt{3}} \dots\dots\dots \mathbf{2.13}$$

UB₂ (Ketidakpastian resolusi) :

$$\frac{a}{k} \dots\dots\dots \mathbf{2.14}$$

Dimana :

a = Ketidakpastian sertifikat kalibrasi

k = faktor cakupan

2.10.3 Ketidakpastian Kombinasi (U_c)

U_c merupakan ketidakpastian kombinasi dari ketidakpastian tipe A dan ketidakpastian tipe B. Adapun persamaan dari ketidakpastian kombinasi adalah :

$$U_c = \sqrt{U_{A1}^2 + U_{A2}^2 + U_{B1}^2 + U_{B2}^2} \dots\dots\dots \mathbf{2.15}$$

Dimana :

U_c = Nilai ketidakpastian kombinasi

U_{A1} = Nilai ketidakpastian hasil pengukuran

U_{A2} = Nilai ketidakpastian regresi

U_{B1} = Nilai ketidakpastian kalibrator

U_{B2} = Nilai ketidakpastian resolusi

2.10.4 Ketidakpastian Diperluas (U_{exp})

Hasil akhir kalibrasi adalah ketidakpastian diperluas sehingga alat ukur tersebut dapat diketahui ketidakpastiannya melalui *Uexpand*. Persamaan *Uexpand* adalah :

$$U_{expand} = k x U_c \dots\dots\dots \mathbf{2.16}$$

Untuk mencari nilai k, maka melihat table t student sesuai

dengan *confidence level* 95%.

2.10.5 Derajat Kebebasan (V_{eff})

$$V_{eff} = \frac{(U_c)^4}{\sum (U_i)^4 / v_i} \dots \dots \dots 2.17$$

Dimana :

V_{eff} : Derajat kebebasan efektif dari ketidakpastian kombinasi

V_i : Derajat kebebasan dari komponen ketidakpastian ke- i

U_i : Hasil ketidakpastian individual ke- i

2.11 Karakteristik Statik

Karakteristik statik adalah sifat sebuah instrumen yang tidak bergantung pada waktu. Beberapa karakteristik statik instrumen yang sering digunakan adalah :

a. Range (span)

Range menyatakan jangkauan pengukuran sebuah instrumen. Sedangkan span adalah selisih nilai maksimum dan minimum yang dapat diukur oleh alat.

b. Linieritas

Pengukuran yang ideal adalah jika hubungan antara input pengukuran (nilai sesungguhnya) dengan output pengukuran (nilai yang ditunjukkan alat ukur) adalah berbanding lurus, dan dinyatakan dalam persamaan garis sebagai berikut:

$$O_{ideal} = KI + a$$

dengan K adalah kemiringan garis =

$$\frac{O_{max} - O_{min}}{I_{max} - I_{min}} \dots \dots \dots 2.18$$

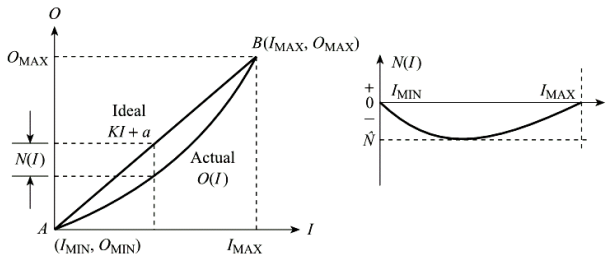
$$a \text{ adalah pembuat nol (zero bias) } = O_{min} - K I_{min} \dots \dots 2.19$$

Jika sebuah instrumen memiliki hubungan input-output tidak berupa garis lurus, penyimpangan dari garis lurus tersebut dikenal sebagai nonlinieritas. Seringkali nonlinieritas dinyatakan

dalam nonlinieritas maksimum dalam bentuk prosentase skala penuh, yaitu:

$$\hat{N} = \frac{[O - KI + a]_{\max}}{O_{\max} - O_{\min}} \times 100\% \dots\dots\dots 2.20$$

Sebuah alat ukur mempunyai nonlinieritas 1 % jika kurva hubungan input dan output berkelok menyimpang 1%. Bentuk nonlinieritas dapat berupa parabola, berkelok, lengkung dan sebagainya. Control valve linier pada 40 – 75 % bukaan, artinya hubungan sinyal input dengan aliran (flow) yang melalui control valve linier pada 40 – 75 %.

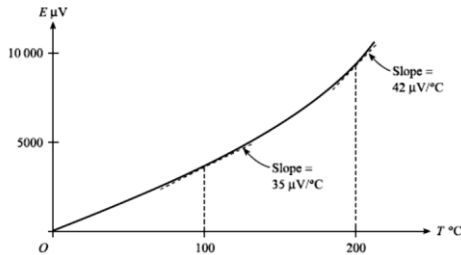


Gambar 2.10 Linieritas dan Nonlinieritas

c. Sensitivitas

Sensitivitas menunjukkan seberapa jauh kepekaan sensor terhadap kuantitas yang diukur. Sensitivitas sering juga dinyatakan dengan bilangan yang menunjukkan “perubahan keluaran dibandingkan unit perubahan masukan” yaitu $\Delta O / \Delta I$. Untuk elemen linear dO/dI sama dengan *slope* atau gradien K dari garis linear. Sedangkan untuk elemen non-linear $dO/dI = K + dO/dI$. Dapat dilihat pada Gambar 2.11. Beberapa sensor panas dapat memiliki kepekaan yang dinyatakan dengan “satu volt per derajat”, yang berarti *perubahan* satu derajat pada masukan akan menghasilkan *perubahan* satu volt pada keluarannya. Sensor panas lainnya dapat saja memiliki kepekaan “dua volt per derajat”, yang berarti memiliki kepekaan dua kali dari sensor yang pertama. Linieritas sensor juga mempengaruhi sensitivitas dari sensor.

Apabila tanggapannya linier, maka sensitivitasnya juga akan sama (konstan) untuk jangkauan pengukuran keseluruhan, yaitu sama dengan kemiringan garis.

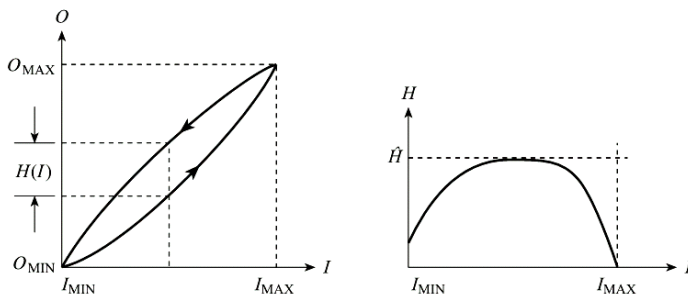


Gambar 2.11 Sensitivitas Termocouple

d. Histerisis

Histeresis menunjukkan perbedaan nilai output pembacaan saat menggunakan nilai input naik (dari rendah ke tinggi), dengan nilai output pembacaan saat menggunakan nilai input turun (dari tinggi ke rendah). Histeresis biasanya dinyatakan dalam histeresis maksimum dalam bentuk prosentase skala penuh, yaitu:

$$\hat{H} = \frac{O_{i\downarrow} - O_{i\uparrow}}{O_{max} - O_{min}} \times 100\% \dots\dots\dots 2.21$$



Gambar 2.12 Histerisis

e. Efek Lingkungan

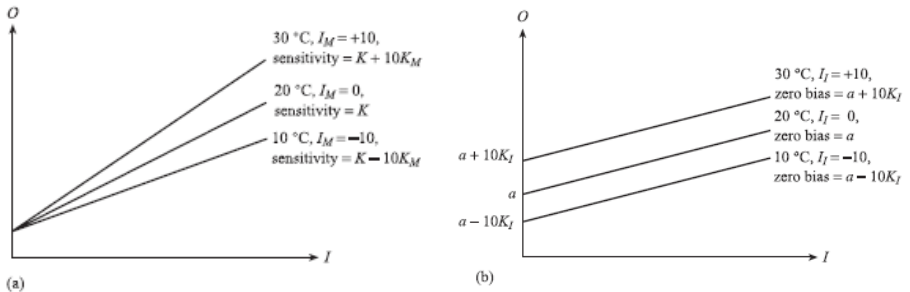
Secara umum, output (O) tidak bergantung hanya pada sinyal input (I) tetapi juga bergantung pada input dari lingkungan

seperti suhu, tekanan atmosfer, kelembaban, tegangan suplai, dan sebagainya. Ada dua tipe input dari lingkungan, yaitu *modifying input* dan *interfering input*.

Modifying input IM menyebabkan sensitivitas linear sistem berubah. K adalah sensitivitas pada kondisi standar ketika $IM = 0$. Jika input diubah dari nilai standar, maka IM mengalami penyimpangan dari kondisi standar. Sensitivitas berubah dari K menjadi $K + K_M IM$, dimana K_M adalah perubahan kepekaan terhadap perubahan unit IM . Gambar 2.13 (a) menunjukkan efek dari modifikasi suhu sekitar pada elemen linier.

Interfering input II menyebabkan *zero bias* berubah. a adalah *zero bias* pada kondisi standar ketika $II = 0$. Jika input diubah dari nilai standar, maka II mengalami penyimpangan dari kondisi standar. *Zero bias* berubah dari a menjadi $a + K_{II} II$, dimana K_{II} adalah perubahan *zero bias* untuk unit perubahan di II . Gambar 2.13 (b) menunjukkan efek dari gangguan suhu sekitar pada elemen linier. Dengan demikian :

$$O = KI + a + N(I) + K_M IM + K_{II} II \dots \dots \dots 2.21$$



Gambar 2.13 (a) Modifying dan (b) Interfering Input

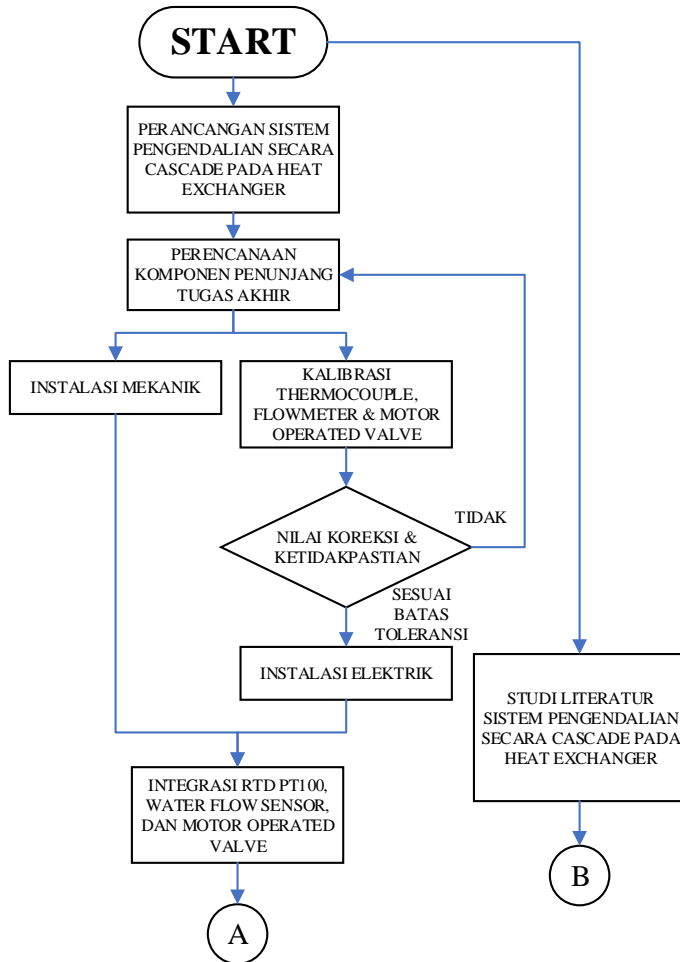
Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB III

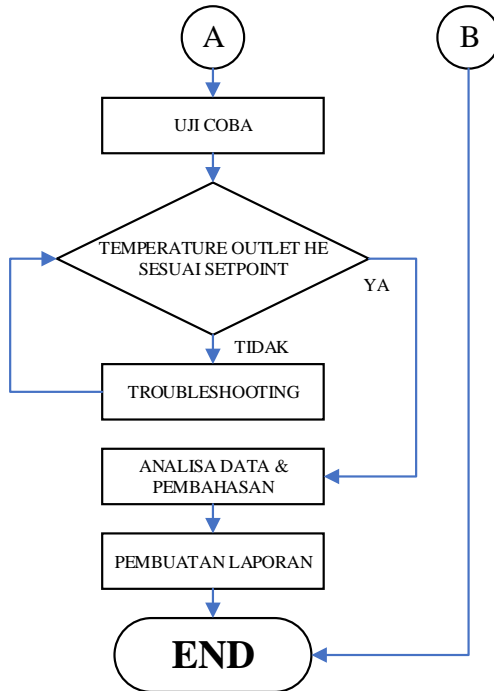
PERANCANGAN DAN PEMBUATAN ALAT

3.1 Perancangan Sistem

Dalam perancangan sistem pada Tugas Akhir ini terdapat *flowchart* sebagai berikut :



Gambar 3.1(A) Skema *Flowchart* Tugas Akhir



Gambar 3.1(B) Skema *Flowchart* Tugas Akhir

3.2 Metodologi Pengerjaan

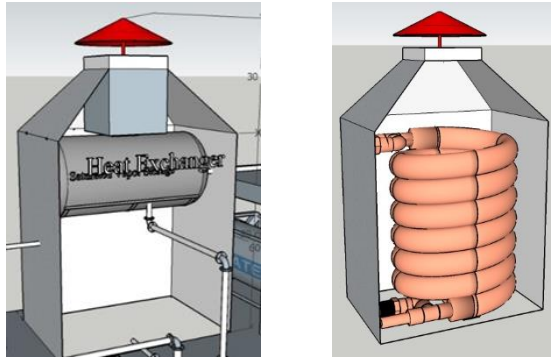
Adapun penjelasan dari langkah-langkah *flowchart* ini yaitu:

3.2.1 Studi Literatur

Studi Literatur yaitu untuk mencari teori-teori yang akan digunakan dan ideal untuk proses pengerjaan tugas akhir. Studi literatur dapat menunjang materi – materi yang akan digunakan menjadi konsep dan dasar dalam pembuatan Tugas Akhir. Literatur yang digunakan dapat berupa jurnal penelitian internasional maupun nasional, buku referensi, maupun penelitian tugas akhir yang sudah ada. Studi literatur dilakukan mulai tahap awal pengerjaan hingga akhir dari Tugas Akhir. Pada Tugas Akhir kali ini literatur – literatur yang digunakan sebagai penunjang terdapat pada Daftar Pustaka.

3.2.2 Perancangan Sistem Pengendalian

Perancangan Sistem Pengendalian secara *Cascade* pada *Heat Exchanger*. *Heat Exchanger* yang akan digunakan adalah *Heat Exchanger* tipe *Spiral Tube* dengan ukuran diameter $\frac{1}{4}$ inch Panjang 36 meter.

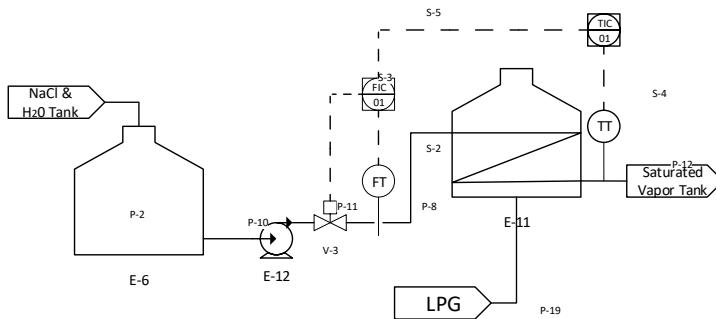


Gambar 3.2 Desain Plant *Heat Exchanger*

Heat Exchanger tipe *Spiral Tube* ini memiliki dimensi sebesar 0,5 x 0,5 meter dengan tinggi 1,3 meter. Permukaan *Heat Exchanger* dilapisi oleh plat besi dengan ketebalan 0,1 cm yang mana dapat menahan panas dari *Burner* (Kompas Pemanas) agar panas dari *Heat Exchanger* dapat terjaga.

Pada tahap ini juga dibutuhkan beberapa komponen penunjang Tugas Akhir yang meliputi Board DT-AVR ATmega1280 sebagai Kontroler Utama, Layar Monitor PC sebagai tampilan *temperature* dan LCD 16x4 sebagai tampilan *flow* dan bukaan *valve*, Kabel USB Serial dari ATmega Ke PC untuk komunikasi Serial, Sensor *Thermocouple* sebagai Sensor *Temperature* dan *Water Flow Sensor* sebagai sensor *Flow*. *Motor Servo* sebagai *Final Control Element*. Kemudian sebagai GUI digunakan Visual Studio sebagai data akuisi untuk menampilkan

respon sistem ke dalam tampilan visual. Berikut merupakan P&ID dari pengerjaan Tugas Akhir :



Gambar 3.3 P&ID Cascade pada Temperature – Flow HE

Pada gambar 3.3 diatas menunjukan desain P&ID (*Piping and Instrumentation Diagram*). Berikut adalah desain keseluruhan Sistem *Mini Plant Desalination Water* yang merupakan *Plant* besar dari pengerjaan Tugas Akhir sebagai gambaran yang ditunjukan pada gambar 3.4 :



Gambar 3.4 Desain 3D *Miniplant Desalination Water*

Proses kerja pada bagian Judul Tugas Akhir *Cascade Control System* pada Pengendalian *Temperature* keluaran *Heat Exchanger Miniplant Desalination Water* adalah sebagai berikut, terdapat dua tanki yaitu Tangki Penyimpanan dan Tangki Uap. Masukan dari tangka uap yang diatur suhunya. Pompa mengalirkan air hasil pencampuran NaCl & H₂O dari Tangki Penyimpanan menuju *Heat Exchanger* kemudian terjadi proses pertukaran panas hingga air tersebut menjadi panas yang selanjutnya menuju Tangki Uap. Siklus ini berlangsung secara terus menerus. Proses pengaturan yang terjadi adalah nilai suhu keluaran *Heat Exchanger* yang dibaca oleh sensor *Thermocouple* dikirim ke ATmega1280. Di dalam ATmega di program sedemikian rupa. Karena sistem kontrol *Cascade* adalah terdapat 2 kontroler yang keluarannya hanya untuk menggerakkan 1 aktuator. Sensor *Thermocouple* akan mengirim data pada pin ATmega1280 kemudian dilakukan perhitungan. Keluaran dari *Primary Loop* akan menjadi *Setpoint* pada *Secondary Loop* dan *Water Flow Sensor* akan menjadi umpan balik pada *Primary Loop*. Keluaran dari *Secondary Loop* akan dikirim ke ATmega1280 sebagai sinyal untuk menggerakkan MOV (*Motor Operated Valve*).

3.2.3 Perencanaan Komponen Penunjang Tugas Akhir

Pada tahap ini Adapun alat dan bahan yang digunakan pada Tugas Akhir ini adalah sebagai berikut :

1. *Water Flow Sensor* Model EGO-A-7.5Q
2. *Thermocouple Type K*
3. *Motor Servo*
4. *Ball Valve* ½ inch 0-100% (0 – 90°)
5. Tubing ¼ inch 36m & Tube Fitting 3-ways ¼ inch
6. *Elbow PVC* ½ inch
7. 3-Ways PVC ukuran ½ inch
8. Sock PVC Drat Luar & Dalam ½ inch

9. *Heat Exchanger*

10. Pompa Air DS – 125

Merk	: D Enshin
Tegangan	: 220 VAC
Frekuensi	: 50 Hz
Maks. Flowrate	: 21.,5 L/min
Tipe Pompa	: Sentrifugal
Maks. Suhu	: 35°C

11. Tangki Penyimpanan

12. Pipa PVC ½ inch

13. Tangki Uap

Pada perencanaan komponen pada sistem pengendalian *temperature - flow* secara *cascade* ini meliputi perencanaan dan instalasi mekanik dan elektrik serta integrasi keduanya. Pada bagian Mekanik, secara garis besar yaitu terdiri dari pompa, pipa PVC ukuran ½ inch, Tubing ¼ inch, dan *Heat Exchanger*. Semua bahan tersebut di pasang sedemikian rupa sehingga akan terbentuk sebuah Mini Plant Desalination Water yang selanjutnya akan di terapkan metode cascade untuk pengendalian *temperature – flow* pada *Heat Exchanger* plant tersebut.

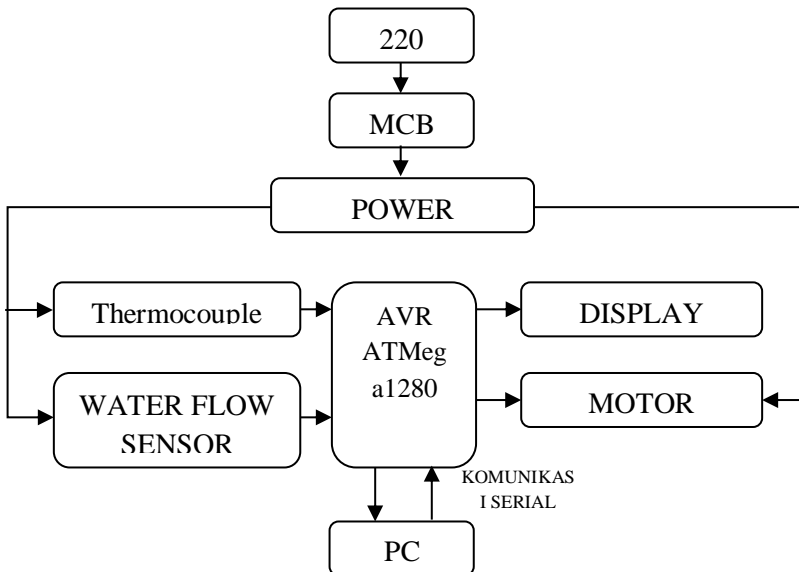
Pengerjaan Proyek Akhir ini di mulai dari pengerjaan mekanik. Adapun tahapan pengerjaan mekanik sebagai berikut :

1. Proses pembuatan mekanik dimulai dari pemotongan pipa PVC ½ inch dengan ukuran panjang cm, . pemotongan menggunakan tool gerinda tangan untuk memudahkan proses pemotongan. Selesai proses pemotongan, maka dilakukan pemasangan mulai dari Tangki Penyimpanan kemudian diberi *Elbow* PVC lalu dilanjutkan hingga masukan Pompa dengan menggunakan Sock drat luar ½ inch.
2. Keluaran Pompa diberi Sock drat luar lalu dilanjutkan Instalasi pipa ukuran cm yang telah diberi *Elbow*.

Selanjutnya dilakukan pemasangan 3-ways PVC $\frac{1}{2}$ inch sebagai *Pressure Reducer* agar aliran dari pompa tidak memiliki tekanan berlebih pada pipa yang selanjutnya akan di umpan balik ke Tangki Penyimpanan.

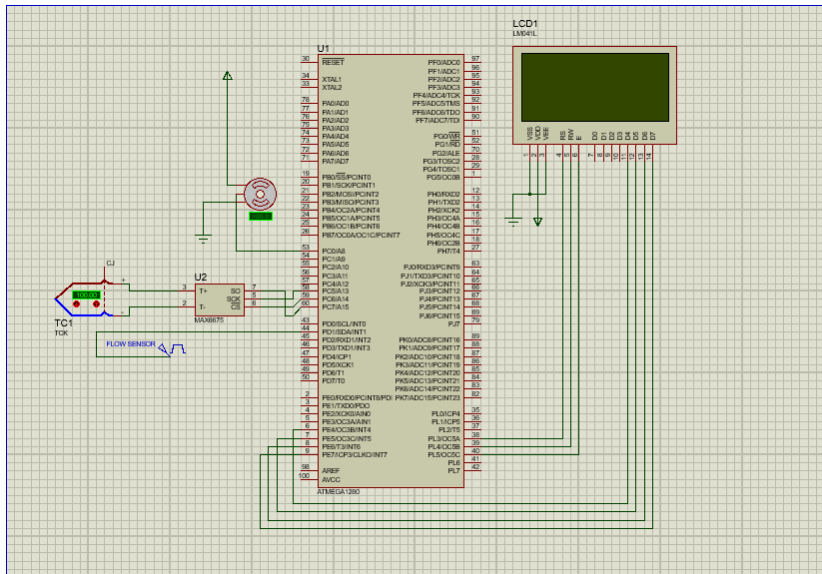
3. Potongan pipa kemudian digunakan untuk pemasangan *Ball Valve* $\frac{1}{2}$ inch yang telah diberi Sock Drat luar dan dilanjutkan hingga sampai di Tubing $\frac{1}{4}$ inch *Heat Exchanger* dengan *Reducer* $\frac{1}{2}$ to $\frac{1}{4}$ inch.
4. Tubing keluaran *Heat Exchanger* dipotong menjadi 2 dan disambungkan dengan *Tube Fitting 3-ways* $\frac{1}{4}$ inch menggunakan las karbit.

Pada pembahasan kali ini juga akan dijelaskan bagaimana perancangan elektrik hingga menjadi sebuah kontrol panel yang akan digunakan untuk sistem pengendalian *Temperature - Flow*. Gambar 3.5 menunjukan Diagram blok dari perancangan elektrik.



Gambar 3.5 Diagram Blok *Hardware* Elektrik

Dari Diagram Blok *Hardware* Elektrik tersebut, selanjutnya dibuat rangkaian simulasi dengan menggunakan *Software* Proteus yang digambarkan pada gambar 3.6 sebagai berikut :



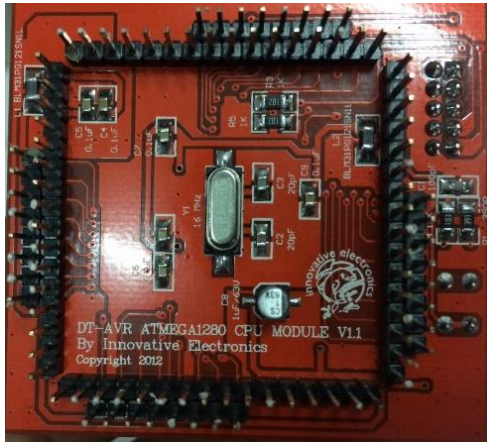
Gambar 3.6 Rangkaian Simulasi Proteus

Berikut adalah komponen penyusun *hardware* elektrik yang akan dijelaskan pada setiap sub point.

1. Mikrokontroller ATmega1280

Pada Pengerjaan Tugas Akhir ini digunakan ATmega sebagai kontroler utama karena lebih banyak I/O yang tersedia sehingga mempermudah dalam pengerjaan Tugas Akhir. Port – port yang terdapat pada ATmega1280 ini terdapat 11 port diantaranya Port A, B, C, D, E, F, G, H, J, K, L. Port A sampai F sebagai input dan Port G sampai L sebagai output, sebagaimana

yang telah ditunjukkan pada gambar 3.6 dibawah merupakan mikrokontroller yang digunakan pada Tugas Akhir ini.



Gambar 3.7 AVR ATmega1280

Adapun spesifikasi yang tersedia. Konfigurasi I/O yang terhubung antara semua device dengan Port Arduino ditunjukkan pada tabel 3.1 dibawah.

Tabel 3.1 Konfigurasi Port pada ATmega1280

Pin	I/O	Fungsi
L3	Output	RS LCD
L4	Output	R/W LCD
L5	Output	E LCD
E4	Output	D4 LCD
E5	Output	D5 LCD
E6	Output	D6 LCD
E7	Output	D7 LCD
C0	Output	Motor Servo
C5	Input	Thermocouple
C6	Input	Thermocouple
C7	Input	Thermocouple

D1	Input	Water Flow
----	-------	------------

2. *Thermocouple Type K*

Bahan	: Chromel (+) Alumel (-)
Output (max6675)	: 5v
Panjang kabel	: 2 meter
Diameter probe	: 5 mm
Panjang probe	: 50 mm
Konektor fork	: 2 wire
Pengukuran	: 0° - 1260°C
Baut probe	: M8



Gambar 3.8 Max6675 *Thermocouple Type K*

Sensor *Thermocouple* digunakan sebagai *Temperature Sensor* yaitu untuk mengukur suhu yang ada di keluaran *Heat Exchanger*. Pada sistem pengendalian ini menggunakan sensor *Thermocouple Type K* dimana mempunyai rentang pengukuran sebesar 0 – 1260 °C. Alasan digunakannya *Thermocouple Type K* ini adalah rentang pengukuran sangat tinggi, dan sesuai dengan *setpoint*. Sensor *Thermocouple* dipasang pada keluaran *Heat Exchanger*, Sensor dipasang pada lingkaran merah pada gambar 3.9, yang kemudian ditarik kabel dan disambungkan ke

mikrokontroller Atmega1280 pada panel, lalu sensor akan memberikan *setpoint* untuk manipulasi *flow* melalui aktuator yang berupa *motor servo* untuk mengatur bukaan *valve*. Berikut merupakan gambar pemasangan sensor pada plant :



Gambar 3.9 sensor *Thermocouple* pada *plant*

Agar dapat mengetahui dan menganalisa sensor yang digunakan dan rangkaian yang telah dibuat agar dapat berfungsi dengan baik diperlukan adanya pengujian terhadap rangkaian yang telah dibuat. Pengujian sensor dilakukan untuk mengetahui karakteristik statik daripada sensor *Thermocouple*. Pengujian alat ukur ini dilakukan dengan membandingkan alat ukur standar dengan alat ukur suhu yang digunakan. Pengujian sensor ini dilakukan di laboratorium elektronika industri, ITS.

Pada kalibrasi sensor *Thermocouple* menggunakan kalibrator sensor suhu yang telah standar, lalu kedua sensor tersebut direndam pada *heater* yang berisi air dan diletakkan pada titik pengukuran yang berbeda, kemudian *heater* dipanaskan, dan stopwatch diaktifkan.

Pengujian alat ukur ini bertujuan untuk mengetahui besar ketidakpastian alat ukur yang dibuat, sehingga dengan mengetahui hal tersebut bisa pula diketahui nilai ketidakpastian pengukuran (UA_1). Akan tetapi, sebelum menghitung nilai ketidakpastian dari

alat ukur tersebut, maka perlu diketahui terlebih dahulu standard deviasi (δ) dari pengukuran tersebut. Adapun untuk menghitung standard deviasi (δ) sebagai berikut :

a. Ketidakpastian Tipe A (U_{A1})

$$U_{A1} = \frac{\sigma}{\sqrt{n}} \quad (3.1)$$

Untuk mencari nilai ketidakpastian tipe A (U_{A1}) pertama mencari standar deviasi (σ) dari pembacaan alat ukur yakni jumlah dari nilai koreksi dibagi dengan ($n-1$), dimana n adalah jumlah data atau titik pengujian (dapat dilihat pada persamaan 3.2)

$$\sigma = \frac{\sqrt{\sum(y_i - \bar{y})^2}}{n-1} \quad (3.2)$$

b. Nilai Ketidakpastian Regresi (U_{A2})

$$U_{A2} = \sqrt{\frac{SSR}{n-2}} \quad (3.4)$$

$$Y_{reg} = a + (b \times t_i) \quad (3.5)$$

$$a = \bar{y}_i - (b \times \bar{t}_i) \quad (3.6)$$

$$b = \frac{n \cdot \sum t_i y_i - \sum y_i \cdot \sum t_i}{n \cdot \sum t_i^2 - (\sum t_i)^2} \quad (3.7)$$

y_i = Nilai koreksi

c. Nilai ketidakpastian tipe B

Pada ketidakpastian tipe B ini terdapat 2 parameter ketidakpastian, yaitu ketidakpastian Resolusi (U_{B1}) dan ketidakpastian alat standar ThermoPalm (U_{B2}). Berikut ini adalah perhitungan ketidakpastian tipe B :

$$U_{B1} = \frac{\frac{1}{2} \times \text{Resolusi}}{\sqrt{3}} \quad (3.8)$$

$$U_{B2} = \frac{a}{k}, \quad (3.9)$$

d. Nilai ketidakpastian kombinasi U_c :

$$U_c = \sqrt{U_{A1}^2 + U_{A2}^2 + U_{B1}^2 + U_{B2}^2} \quad (3.10)$$

Dengan kondisi V atau derajat kebebasan dari kedua tipe ketidakpastian, sebagai berikut :

$$V = n-1$$

Dengan nilai V_{eff} (Nilai derajat kebebasan efektif) sebagai berikut :

$$V_{eff} = \frac{(U_c)^4}{\sum (U_i)^4 / V_i} \quad (3.11)$$

Oleh karena itu, hasil nilai ketidakpastian berulang sebesar :

$$U_{exp} = k \times U_c \quad (3.12)$$

Sehingga berdasarkan perhitungan ketidakpastian diperluas diatas, menghasilkan nilai ketidakpastian alat sebesar \pm dengan tingkat kepercayaan % dari tabel *T-Student*. Nilai ketidakpastian tersebut akan menjadi acuan untuk pembacaan alat ukur selama alat ukur tersebut digunakan.

Selanjutnya adalah mencari karakteristik statik. Karakteristik Statik adalah karakteristik yang harus diperhatikan apabila alat tersebut digunakan untuk mengukur suatu kondisi yang tidak berubah karena waktu atau hanya berubah secara lambat laun. Untuk itu perlu dilakukan perhitungan untuk mengetahui nilai karakteristik dari sensor RTD PT100 diantaranya sebagai berikut :

a. Sensitivitas (dari data pengujian alat) = $\frac{\Delta O}{\Delta I}$ (3.13)

b. Akurasi :

$$A = 1 - \left| \frac{Y_n - X_n}{Y_n} \right| \times 100\% \quad (3.14)$$

dengan Y_n = Pembacaan standar dan X_n = Pembacaan alat

c. Error :

$$e = 1 - A \quad (3.15)$$

d. Histerisis

$$H(I) = O(I)_{I1} - O(I)_{I1}, \widehat{H} = H(I)_{max} \text{ sehingga :}$$

$$\% \text{ Maksimum histeresis} = \frac{H}{O_{max} - O_{min}} \times 100\% \quad (3.16)$$

3. Water Flow Sensor

Water Flow Sensor digunakan untuk mengukur laju aliran dari Tangki Storage menuju *Heat Exchanger*.



Gambar 3.10 *Water Flow Sensor*

Model	: Lurus (Straight)
Ukuran inlet	: ½” drat luar
Ukuran outlet	: ½” drat luar
Material	: Plastik
Arus kerja	: 10mA
Tegangan kerja	: 3 – 18V
Kapasitas	: 0,5 – 30 L/min
Tekanan Air	: $\leq 1,75$ MPa
Ukuran	: 57x37x40mm
Jumlah Kabel	: 4 (merah – hitam – kuning – biru)

Pada sistem pengendalian ini juga menggunakan Sensor Water Flow dimana mempunyai range pengukuran sebesar 0,5 – 30L/M. Sensor Water Flow dipasang pada inlet Heat Exchanger, Sensor ini dipasang pada lingkaran merah pada gambar 3.11, yang kemudian ditarik kabel yang disambungkan ke mikrokontroler Atmega1280 pada panel, yang kemudian akan memberikan perintah pada actuator yang berupa motor servo untuk mengatur bukaan valve. Berikut merupakan gambar pemasangan sensor pada plant :



Gambar 3.11 sensor *Water Flow* pada *Plant*

Sama halnya dengan *Thermocouple*, agar dapat mengetahui dan menganalisa sensor yang digunakan dan rangkaian yang telah dibuat agar dapat berfungsi dengan baik diperlukan adanya pengujian terhadap rangkaian yang telah dibuat. Pengujian alat ukur ini dilakukan dengan membandingkan alat ukur standar dengan alat ukur suhu yang digunakan. Pengujian sensor ini dilakukan di laboratorium workshop instrumentasi, ITS.

Pengujian alat ukur ini bertujuan untuk mengetahui besar ketidakpastian alat ukur yang dibuat, sehingga dengan mengetahui hal tersebut bisa pula diketahui nilai ketidakpastian pengukuran (U_{A1}). Akan tetapi, sebelum menghitung nilai ketidakpastian dari alat ukur tersebut, maka perlu diketahui terlebih dahulu standar deviasi (δ) dari pengukuran tersebut. Adapun untuk menghitung standard deviasi (δ) sebagai berikut :

a. Ketidakpastian Tipe A (U_{A1})

$$U_{A1} = \frac{\sigma}{\sqrt{n}} \quad (3.17)$$

Untuk mencari nilai ketidakpastian tipe A (U_{A1}) pertama mencari standar deviasi (σ) dari pembacaan alat ukur yakni jumlah dari nilai koreksi dibagi dengan ($n-1$), dimana n adalah jumlah data atau titik pengujian (dapat dilihat pada persamaan 3.2)

$$\sigma = \frac{\sqrt{\sum(y_i - \bar{y})^2}}{n-1} \quad (3.18)$$

b. Nilai Ketidakpastian Regresi (U_{a2})

$$U_{a2} = \sqrt{\frac{SSR}{n-2}} \quad (3.19)$$

$$Y_{reg} = a + (b \times t_i) \quad (3.20)$$

$$a = \bar{y}_i - (b \times \bar{t}_i) \quad (3.21)$$

$$b = \frac{n \cdot \sum t_i y_i - \sum y_i \cdot \sum t_i}{n \cdot \sum t_i^2 - (\sum t_i)^2} \quad (3.22)$$

y_i = Nilai koreksi

c. Nilai ketidakpastian tipe B

Pada ketidakpastian tipe B ini terdapat 2 parameter ketidakpastian, yaitu ketidakpastian Resolusi (U_{B1}) dan ketidakpastian alat standar Rotarymeter (U_{B2}). Berikut ini adalah perhitungan ketidakpastian tipe B :

$$U_{B1} = \frac{\frac{1}{2} \times \text{Resolusi}}{\sqrt{3}} = \frac{\frac{1}{2} \times 0.01}{\sqrt{3}} = 0.003 \quad (3.23)$$

$$U_{B2} = \frac{a}{k} \quad (3.24)$$

dikarenakan pada alat standar terdapat sertifikat kalibrasinya maka nilai a (ketidakpastian sertifikat kalibrasi) dianggap mendekati 0, dan nilai faktor cakupan dianggap 2,0. Sehingga hasil : $U_{B2} = 0$

d. Nilai ketidakpastian kombinasi U_c :

$$U_c = \sqrt{U_{a1}^2 + U_{a2}^2 + U_{b1}^2 + U_{b2}^2} \quad (3.25)$$

Dengan kondisi V atau derajat kebebasan dari kedua tipe ketidakpastian, sebagai berikut :

$V = n-1$, sehingga :

Dengan nilai V_{eff} (Nilai derajat kebebasan efektif) sebagai berikut :

$$V_{eff} = \frac{(U_c)^4}{\sum (U_i)^4 / V_i} \quad (3.26)$$

Oleh karena itu, hasil nilai ketidakpastian berulang sebesar :

$$U_{exp} = k \times U_c \quad (3.27)$$

Sehingga berdasarkan perhitungan ketidakpastian diperluas diatas, menghasilkan nilai ketidakpastian alat sebesar \pm dengan tingkat kepercayaan % dari tabel *T-Student*. Nilai ketidakpastian tersebut akan menjadi acuan untuk pembacaan alat ukur selama alat ukur tersebut digunakan.

Selanjutnya karakteristik statik. Karakteristik Statik adalah karakteristik yang harus diperhatikan apabila alat tersebut digunakan untuk mengukur suatu kondisi yang tidak berubah karena waktu atau hanya berubah secara lambat laun. Untuk itu perlu dilakukan perhitungan untuk mengetahui nilai karakteristik dari sensor Water Flow diantaranya sebagai berikut :

e. Sensitivitas (dari data pengujian alat) = $\frac{\Delta O}{\Delta I}$ (3.28)

f. Akurasi :

$$A = 1 - \left| \frac{Y_n - X_n}{Y_n} \right| \times 100\% \quad (3.29)$$

dengan Y_n = Pembacaan standar dan X_n = Pembacaan alat

g. Error :

$$e = 1 - A \quad (3.30)$$

h. Histerisis

$$H(I) = O(I)_{I\downarrow} - O(I)_{I\uparrow}, \widehat{H} = H(I)_{max} \text{ sehingga :}$$

$$\% \text{ Maksimum histeresis} = \frac{\widehat{H}}{O_{max} - O_{min}} \times 100\% \quad (3.31)$$

4. Motor Servo

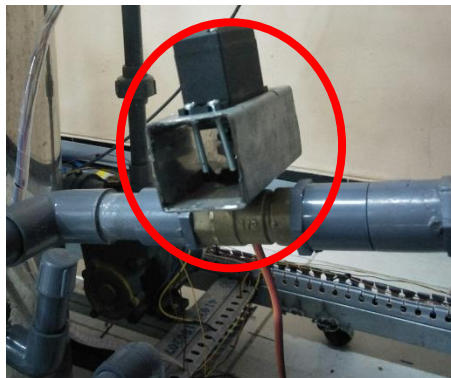
Motor servo sebagai penggerak *Ball Valve* ½ inch bertindak sebagai MOV (*Motor Operated Valve*). Putaran *Servo* diatur pada mikrokontroler sehingga putaran *Servo* diatur dengan rentang 0 - 90°. Karena bukaan pada *Ball Valve* sebesar 90°, sehingga *Servo*

diatur dalam rentang tersebut. Gambar 3.9 berikut menunjukkan Motor Servo.



Gambar 3.12 Motor Servo

Berat	: 13.4g
Ukuran	: 22.8 x 12.2 x 28.5mm
Stall torque	: 1.8 kg-cm (4.8V DC); 2.2 kg-cm (6V DC)
Speed	: 0.1 sec/60 (4.8V DC); 0.08 sec/60 (6V DC)
Tegangan	: 4.8-6V DC
Gear	: metal gear
Panjang kabel	: 15cm



Gambar 3.12 Motor Operated Valve

5. *Power Supply*

Power Supply merupakan komponen utama yang bertindak sebagai catu daya. *Power Supply* dengan besar tegangan 5 VDC 3A sebagai catu daya untuk Mikrokontroller dan Water Flow Sensor. Bentuk power supply ditunjukkan pada gambar 3.10 dibawah ini.



Gambar 3.13 Power Supply 5 VDC

6. *Display*

Pada pengerjaan Tugas Akhir kali ini digunakan layer PC sebagai display untuk *temperature outlet*, dan LCD sebagai *display* untuk *flow inlet* dan bukaan *valve*. Pada visualisasinya digunakan software Visual Basic yang akan menunjukkan besar temperature outlet *Heat Exchanger*.

3.2.4 **Integrasi Komponen**

Integrasi meliputi sensor *Thermocouple*, sensor *Water Flow*, dan *Motor Operated Valve*. Pada tahap ini setiap komponen – komponen saling diintegrasi mulai mekanik hingga elektrik sehingga sistem dapat *running*.

3.2.5 **Uji coba Plant**

Uji coba yaitu *running* keseluruhan Miniplant Desalinasi dan pengamatan khususnya terhadap judul Tugas Akhir mulai pembacaan sensor, respon aktuator, dan penampilan data pada LCD.

3.2.6 **Troubleshooting**

Troubleshooting dilakukan ketika plant *running* namun tidak sesuai dengan *setpoint* yang diharapkan, atau bahkan tidak dapat *running*. *Troubleshoot* dilakukan mulai dari komponen mekanik hingga elektrik, serta melakukan pengecekan kembali pada program.

3.2.7 Analisis data dan penarikan kesimpulan

Analisa data dan penarikan kesimpulan yaitu menganalisis dari hasil pengambilan data serta mengambil kesimpulan. Data hasil uji alat pada Tugas Akhir kali ini akan dicantumkan dalam BAB 4.

BAB IV

ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN

Pada bab 4 ini akan dijelaskan tentang pengujian alat dan sekaligus dilakukan analisis dari data yang telah diperoleh. Pengujian dilakukan untuk mengetahui bagaimana kondisi dan hasil yang didapatkan dari alat yang telah di buat. Gambar 4.1 berikut merupakan gambar *miniplant* Desalinasi.



Gambar 4.1 *Miniplant Desalination Water*

4.1 Pengujian Sensor *Thermocouple*

Pengujian dilakukan dengan membandingkan nilai alat ukur yang dibaca sensor dengan nilai ukur yang dibaca alat standar dengan rentang ukur 30 - 120°C tiap kenaikan 10 °C. Tabel 4.1 berikut merupakan nilai hasil pembacaan sensor *Thermocouple Type K* yang dibandingkan dengan alat ukur standar.

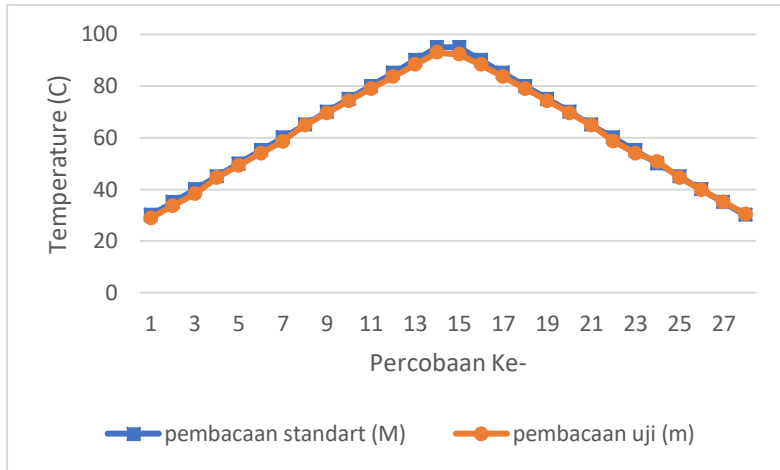
Tabel 4.1 Uji Sensor *Thermocouple*

No	Pembacaan Standar (°C)	Pembacaan <i>Thermocouple</i> (°C)	Error (%)
1	30	28.9	0.036666
2	40	38.2	0.045
3	50	49.2	0.016
4	60	58.6	0.023333
5	70	69.5	0.007142
6	80	78.9	0.01375
7	90	88.2	0.02
8	100	98.2	0.018
9	110	109.4	0.005454
10	120	118.5	0.0125
11	110	109.4	0.005454
12	100	98.4	0.016
13	90	88.2	0.02
14	80	78.9	0.01375
15	70	69.5	0.007142
16	60	58.6	0.023333
17	50	50.7	0.014
18	40	39.8	0.005
19	30	30.4	0.013333

Tabel diatas merupakan hasil uji sensor *Thermocouple* dengan kalibrator. Pembacaan dimulai dari suhu 30 - 120°C tiap kenaikan 10 °C. Error diperoleh dari perhitungan persamaan :

$$E = \frac{\text{Pembacaan Standar} - \text{Pembacaan Sensor}}{\text{Pembacaan Standar}} \times 100\% \quad (4.1)$$

Dari tabel diatas dapat diperoleh gambar 4.2 yang merupakan grafik perbandingan pembacaan standar dengan pembacaan *thermocouple* sebagai berikut :



Gambar 4.2 Grafik Pembacaan Naik & Turun Sensor
Thermocouple

Pada grafik Uji sensor dapat dilihat perbandingan antara sensor *Thermocouple* dengan kalibrator, dari grafik tersebut pembacaan alat ukur mendekati nilai standar yang ditunjukkan pada kalibrator. Adapun untuk menghitung standar deviasi (δ) sebagai berikut :

a. Ketidakpastian Tipe A (U_{a1})

Untuk mencari nilai ketidakpastian tipe A (U_{a1}) pertama mencari standar deviasi (σ) dari pembacaan alat ukur yakni jumlah dari nilai koreksi dibagi dengan $(n-1)$, dimana n adalah jumlah data atau titik pengujian (dapat dilihat pada persamaan 3.2), sehingga hasil standar deviasinya adalah 5.232180643

Setelah mendapatkan nilai Standar deviasi, selanjutnya dari persamaan 3.1 dapat dicari nilai ketidakpastian tipe A (U_{a1}) dengan hasil adalah 0.9887892

b. Nilai Ketidakpastian Regresi (U_{a2})

Untuk menghitung nilai U_{a2} digunakan persamaan 3.4 sehingga hasil dari U_{a2} adalah 5.00422513

c. Nilai ketidakpastian tipe B

Pada ketidakpastian tipe B ini terdapat 2 parameter ketidakpastian, yaitu ketidakpastian Resolusi (U_{B1}) dan ketidakpastian alat standar ThermoPalm (U_{B2}). Untuk menghitung U_{B1} digunakan persamaan 3.8 sehingga didapatkan hasil sebesar **0.003**

Untuk U_{B2} , dikarenakan pada alat standar terdapat sertifikat kalibrasinya maka nilai a (ketidakpastian sertifikat kalibrasi) dianggap mendekati 0, dan nilai faktor cakupan dianggap 2,0. Sehingga hasil : $U_{B2} = 0$

d. Nilai ketidakpastian kombinasi U_c :

Nilai U_c ditentukan dari persamaan 3.10 sehingga didapatkan hasil sebesar 5.117334084

Dengan kondisi V atau derajat kebebasan dari kedua tipe ketidakpastian, sebagai berikut :

$V = n-1$, sehingga :

$V_1 = 4$; $V_2 = 4$; $V_3 = \infty$;

Dengan nilai V_{eff} (Nilai derajat kebebasan efektif) diperoleh dari persamaan 3.11 sehingga diperoleh hasil sebesar 46.36308798, sehingga jika dibulatkan menjadi 46, dimana pada table *T-student* menghasilkan nilai k (faktor koreksi) sebesar 2.67. Oleh karena itu, hasil nilai ketidakpastian berulang yang didapat dari persamaan 3.12 sebesar 13.79%

Sehingga berdasarkan perhitungan ketidakpastian diperluas diatas, menghasilkan nilai ketidakpastian alat sebesar \pm dengan tingkat kepercayaan % dari tabel *T-Student*. Nilai ketidakpastian tersebut akan menjadi acuan untuk pembacaan alat ukur selama alat ukur tersebut digunakan.

Selanjutnya adalah mencari karakteristik statik. Karakteristik Statik adalah karakteristik yang harus diperhatikan apabila alat tersebut digunakan untuk mengukur suatu kondisi yang tidak berubah karena waktu atau hanya berubah

secara lambat laun. Untuk itu perlu dilakukan perhitungan untuk mengetahui nilai karakteristik dari sensor Thermocouple diantaranya sebagai berikut :

a. Sensitivitas (dari data pengujian alat)

Sensitivitas diperoleh berdasarkan perhitungan persamaan 3.13 sehingga diperoleh hasil sebesar 0.94

b. Akurasi :

Besarnya Akurasi dihitung berdasarkan persamaan 3.14 sehingga diketahui Akurasi sensor sebesar 96%

c. Error :

Error diketahui berdasarkan persamaan 3.15 sehingga error dari sensor sebesar 4%

d. Histerisis

Histerisis diperoleh berdasarkan perhitungan persamaan 3.16 sehingga diketahui nilai histerisis adalah 4.7%

Dari semua perhitungan yang telah dilakukan, diperoleh nilai karakteristik statik dari sensor Thermocouple diantaranya :

- a. Range : 30 – 120°C
- b. Span : 90°C
- c. Resolusi : 0.01
- d. Sensitifivitas (K) : 0.94°C
- e. % maks Histerisis : 4.7%
- f. Akurasi : 96%
- g. Kesalahan (*error*) : 4%

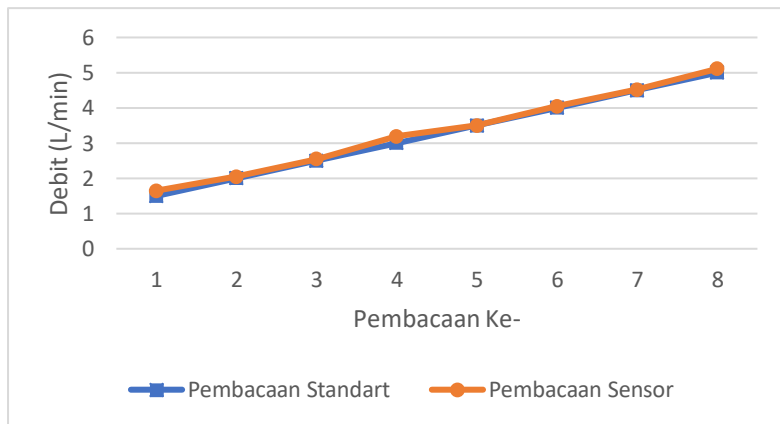
4.2 Pengujian Sensor *Water Flow*

Pengujian dilakukan dengan membandingkan nilai alat ukur yang dibaca sensor dengan nilai ukur yang dibaca alat standar dengan rentang ukur L/min. Berikut ini merupakan nilai hasil pembacaan sensor Water Flow yang disajikan pada table 4.2

Tabel 4.2 Pengujian Sensor *Water Flow*

No	Pembacaan Standar (L/min)	Pembacaan Alat (L/min)	Error (%)
1	1.5	1.65	0.1
2	2	2.05	0.025
3	2.5	2.545	0.018
4	3	3.19	0.063333
5	3.5	3.50	0
6	4	4.05	0.0125
7	4.5	4.52	0.004444
8	5	5.11	0.022

Tabel diatas merupakan hasil uji sensor *Water Flow* dengan kalibrator. Gambar 4.3 diperoleh dari tabel diatas yang merupakan grafik perbandingan alat ukur standar dan pembacaan sensor :

**Gambar 4.3** Grafik Kalibrasi Sensor *Water Flow*

Pada grafik Uji sensor dapat dilihat perbandingan antara sensor *Water Flow* dengan Kalibrator dari grafik tersebut pembacaan alat ukur mendekati nilai standar.

Pengujian alat ukur ini bertujuan untuk mengetahui besar ketidakpastian alat ukur yang dibuat, sehingga dengan mengetahui

hal tersebut bisa pula diketahui nilai ketidakpastian pengukuran (U_{A1}). Akan tetapi, sebelum menghitung nilai ketidakpastian dari alat ukur tersebut, maka perlu diketahui terlebih dahulu standard deviasi (δ) dari pengukuran tersebut. Adapun untuk menghitung standard deviasi (δ) sebagai berikut :

a. Ketidakpastian Tipe A (U_{a1})

Untuk mencari nilai ketidakpastian tipe A (U_{a1}) pertama mencari standar deviasi (σ) dari pembacaan alat ukur yakni jumlah dari nilai koreksi dibagi dengan $(n-1)$, dimana n adalah jumlah data atau titik pengujian (dapat dilihat pada persamaan 3.2). Sehingga hasil Standar Deviasinya adalah 0.035527767.

Sehingga dari persamaan 3.1 dapat dicari nilai ketidakpastian tipe A (U_{a1}) sehingga hasil dari U_{a1} adalah 0.011234866

b. Nilai Ketidakpastian Regresi (U_{a2})

Untuk menghitung nilai U_{a2} digunakan persamaan 3.4 sehingga hasil dari U_{a2} adalah 0.226279994

c. Nilai ketidakpastian tipe B

Pada ketidakpastian tipe B ini terdapat 2 parameter ketidakpastian, yaitu ketidakpastian Resolusi (U_{B1}) dan ketidakpastian alat standar Rotarymeter (U_{B2}). Untuk menghitung U_{B1} digunakan persamaan 3.8 sehingga didapatkan hasil sebesar **0.003**.

Untuk nilai U_{B2} , dikarenakan pada alat standar terdapat sertifikat kalibrasinya maka nilai a (ketidakpastian sertifikat kalibrasi) dianggap mendekati 0, dan nilai faktor cakupan dianggap 2,0. Sehingga hasil : $U_{B2} = 0$

d. Nilai ketidakpastian kombinasi U_c :

Nilai U_c ditentukan dari persamaan 3.10 sehingga didapatkan hasil sebesar 0.22657712

Dengan kondisi V atau derajat kebebasan dari kedua tipe ketidakpastian, sebagai berikut :

$V = n-1$, sehingga :

$V1 = 4$; $V2 = 4$; $V3 = \infty$;

Dengan nilai V_{eff} (Nilai derajat kebebasan efektif) diperoleh dari persamaan 3.11 sehingga diperoleh hasil sebesar 18380.19278, sehingga jika dibulatkan menjadi 16, dimana pada table *T-student* menghasilkan nilai k (faktor koreksi) sebesar 1.9. Oleh karena itu, hasil nilai ketidakpastian berulang yang didapat dari persamaan 3.12 sebesar 43,05%.

Sehingga berdasarkan perhitungan ketidakpastian diperluas diatas, menghasilkan nilai ketidakpastian alat sebesar \pm dengan tingkat kepercayaan % dari tabel *T-Student*. Nilai ketidakpastian tersebut akan menjadi acuan untuk pembacaan alat ukur selama alat ukur tersebut digunakan.

Selanjutnya karakteristik statik. Karakteristik Statik adalah karakteristik yang harus diperhatikan apabila alat tersebut digunakan untuk mengukur suatu kondisi yang tidak berubah karena waktu atau hanya berubah secara lambat laun. Untuk itu perlu dilakukan perhitungan untuk mengetahui nilai karakteristik dari sensor Water Flow diantaranya sebagai berikut :

a. Sensitivitas (dari data pengujian alat)

Sensitivitas diperoleh berdasarkan perhitungan persamaan 3.13 sehingga diperoleh hasil sebesar 1.9

b. Akurasi :

Besarnya Akurasi dihitung berdasarkan persamaan 3.14 sehingga diketahui Akurasi sensor sebesar 98.68%

c. Error :

Error diketahui berdasarkan persamaan 3.15 sehingga error dari sensor sebesar 1.32%

d. Histerisis

Histerisis diperoleh berdasarkan perhitungan persamaan 3.16 sehingga diketahui nilai histerisis adalah 0.095

Sehingga diperoleh nilai karakteristik statik dari sensor Water Flow diantaranya :

- a. Range : 1,5 – 5 L/min
- b. Span : 3,5 L/min
- c. Resolusi : 0.01
- d. Sensitifivitas (K) : 1.9 L/min
- e. % maks Histerisis : 0.095%
- f. Akurasi : 98.68%
- g. Kesalahan (*error*) : 1.32%

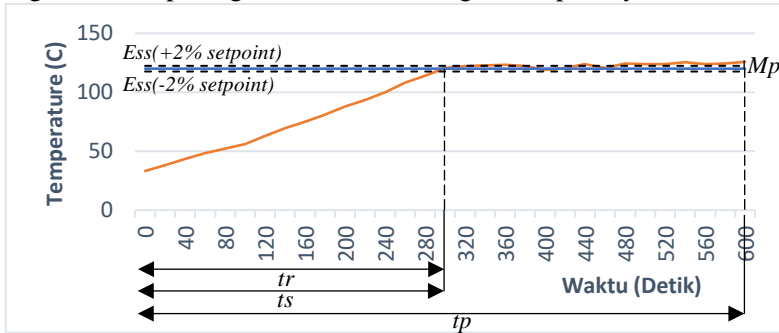
4.3 Data Pengujian Alat

Berikut adalah data berupa tabel 4.3 yang terdiri dari pembacaan sensor termokopel k berupa suhu yang diambil dari tampilan HMI di PC, setiap kenaikan 20 detik :

Tabel 4.3 Data respon sensor thermocouple terhadap waktu

No	Waktu (Detik)	Temperature (°C)	No	Waktu (Detik)	Temperature (°C)
1	0	33,25	16	300	120,80
2	20	38,00	17	320	122.2
3	40	43,55	18	340	122.8
4	60	48,50	19	360	123.2
5	80	52,10	20	380	122
6	100	56,25	21	400	118.8
7	120	63,30	22	420	120.55
8	140	69,75	23	440	123.6
9	160	74,90	24	460	120.8
10	180	81,15	25	480	124.45
11	200	88,20	26	500	123.75
12	220	93,40	27	520	124.1
13	240	100,05	28	540	125.25
14	260	107,90	29	560	123.9
15	280	113,85	30	580	124.55

Dari hasil pengambilan data tersebut kemudian diperoleh grafik respon Primary Loop yaitu temperature terhadap waktu yang digambarkan pada gambar 4.4 beserta garis setpoint yaitu 120°C.



Gambar 4.4 Grafik Respon Sistem

Dari Grafik Respon Time dapat dilihat respon diatas mulai dititik 33,25 °C. Respon pembacaan temperatur cepat naiknya dikarenakan valve flowrate air yang masuk dalam tubing Heat Exchanger membuka 50%, dan pada titik 120°C Respon temperatur kembali normal disebabkan oleh valve flowrate air membuka 100%. Untuk mencapai dari awal sampai mencapai set point 120° C (settling time) diperlukan waktu 5 menit.

a. *Maximum Overshoot (Mp)*

$$Mp = \frac{PV_{max} - Setpoint}{Setpoint} \times 100\% \quad (4.2)$$

$$Mp = \frac{125,8 - 120}{120} \times 100\%$$

$$Mp = 4,83 \%$$

b. *Settling Time (Ts)*

$$Ts = 2\% \times setpoint \quad (4.3)$$

$$Ts = 0.02 \times 120$$

$$Ts = 2,4$$

120 - 2,4 = 117,6° C. Jika ditarik garis terhadap waktu, maka Ts menunjukkan waktu ke 300 s

c. *Error Steady State (Ess)*

$$Ess = 2\% \times \text{setpoint} \quad (4.4)$$

$$Ess = 0,02 \times 120$$

$$Ess = 2,4$$

$$120 - 2,4 = 117,6$$

$$120 + 2,4 = 122,4$$

$$\frac{PV_{max} - PV_{min}}{PV_{min}} \times 100\% \quad (4.5)$$

$$\frac{125,8 - 120,5}{120,5} \times 100\% = 4,4 \%$$

Berdasarkan data yang diperoleh tersebut, diperoleh nilai *Maximum Overshoot (Mp)* sebesar 4,83 % , nilai *Rise time (Tr)* sebesar 20 detik, nilai *Settling time* sebesar 300 detik, dan besarnya *Error Steady State (Ess)* sebesar 4,4 %.

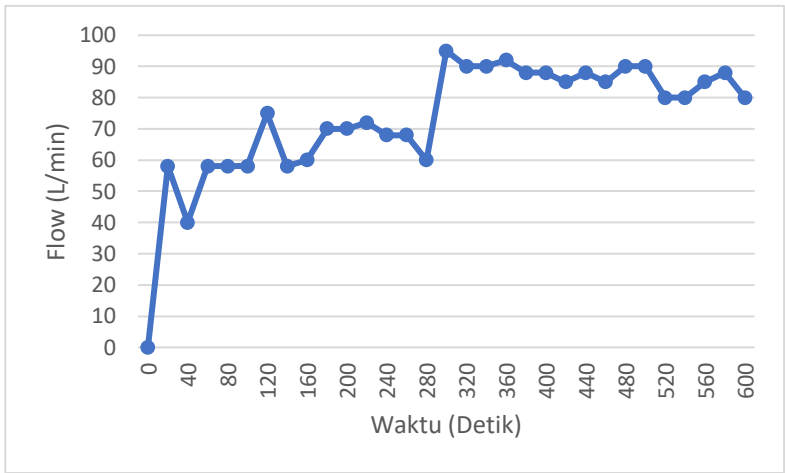
Berikutnya adalah table 4.4 data pembacaan Water Flow Sensor yang ditampilkan pada LCD 16x4 setiap kenaikan 20 detik.

Tabel 4.4 Data Respon Water Flow Sensor terhadap Waktu

No	Waktu(s)	Flow(L/min)
1	0	0
2	20	58
3	40	40
4	60	58
5	80	58
6	100	58
7	120	75
8	140	58
9	160	60
10	180	70
11	200	70
12	220	72
13	240	68
14	260	68
15	280	60

No	Waktu(s)	Flow(L/min)
16	300	95
17	320	90
18	340	90
19	360	92
20	380	88
21	400	88
22	420	85
23	440	88
24	460	85
25	480	90
26	500	90
27	520	80
28	540	80
29	560	85
30	580	88

Dari hasil pengambilan data tersebut kemudian diperoleh grafik respon Secondary Loop yaitu flow terhadap waktu yang digambarkan pada gambar 4.5 sebagai berikut.



Gambar 4.5 Respon Water Flow Sensor terhadap Waktu

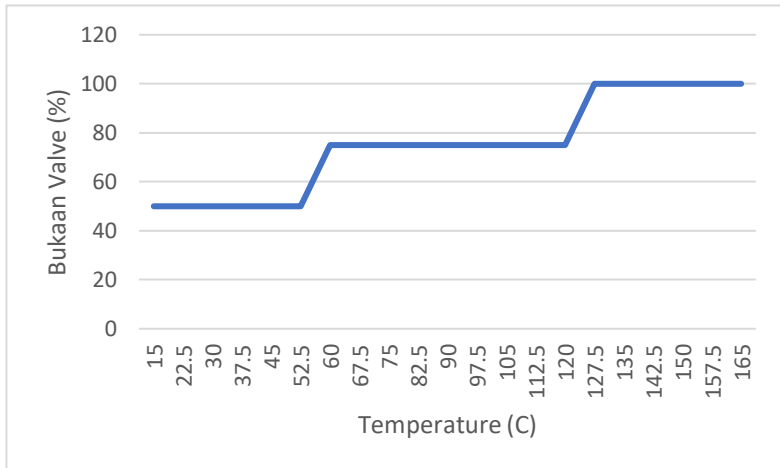
Selanjutnya yaitu respon actuator terhadap sensor suhu. Berikut adalah tabel 4.5 data respon actuator terhadap sensor suhu.

Tabel 4.5 Data respon Aktuator terhadap Sensor

No	Respon Aktuator (%)	Pembacaan Sensor (°C)
1	50	33,25
2	50	38,00
3	50	43,55
4	50	48,50
5	50	52,10
6	50	56,25
7	75	63,30
8	75	69,75
9	75	74,90

No	Respon Aktuator (%)	Pembacaan Sensor (°C)
10	75	81,15
11	75	88,20
12	75	93,40
13	75	100,05
14	75	107,90
15	75	113,85
16	100	120,80
17	100	122,20
18	100	122,80

Respon aktuator diatur dalam 3 kondisi, yaitu bukaan 50%, 75%, dan 100 %. Dari hasil pengambilan data tersebut kemudian diperoleh grafik respon Aktuator terhadap Sensor yang terdapat pada gambar 4.6



Gambar 4.6 Grafik respon Aktuator

Pada data respon aktuator dapat diketahui bahwa kerja aktuator pada sistem ini akan membuka secara penuh (Full Open) pada rentang suhu outlet HE diatas 120 derajat Celsius. Ketika suhu berada dalam rentang 60 – 120 derajat Celsius maka valve akan membuka sebanyak 75%, dan ketika suhu berada dalam rentang 0 – 60 derajat Celcius Valve akan membuka sebanyak 50%.

4.4 Pembahasan

Sistem pengendalian *Temperature - Flow* pada *Heat Exchanger Mini Desalination Water Plant* ini dirancang menggunakan sensor Termokopel stick Tipe K dan *Water Flow Sensor*. selain range pembacaan yang tinggi, jenis termokopel ini mudah didapatkan dibanding tipe yang lain. Termokopel dan *Water Flow Sensor* yang digunakan pada Tugas Akhir ini juga

telah diuji dan telah memenuhi kriteria standar yang dapat dilihat pada data yang dibahas pada poin 4.1 dan 4.2. Pemasangan termokopel pada HE diletakkan pada keluaran dari HE dan *Water Flow Sensor* pada masukan HE. Hal ini bertujuan untuk mengetahui perubahan suhu air yang telah berubah fasa menjadi uap setelah melewati tube spiral HE.



Gambar 4.7 Pemasangan Sensor Suhu

Gambar diatas merupakan hasil dari pemasangan *thermocoupe*l yang diletakkan di outlet HE. Dari data percobaan yang telah dilakukan dapat diketahui kenaikan suhu dari HE ketika uap sudah mulai dihasilkan oleh *Heat Exchanger*.

Sesuai dengan data yang telah diperoleh dari pengambilan data diatas dapat diketahui bahwa respon sistem pengendalian temperature outlet HE pada plant ini memerlukan waktu *steady state* sekitar 5 menit sejak *plant* dinyalakan. Hal ini menunjukkan bahwa perubahan dari suhu keluaran HE akan mencapai nilai puncaknya (*maximum overshoot*) untuk kemudian menjadi *steady state*. Hal ini dikarenakan proses sirkulasi outlet HE memerlukan waktu tertentu dan proses ini memerlukan bantuan dari respon *flowrate* agar suhu dapat mencapai *setpoint* dengan cepat.

Pada mulanya pembacaan *Water Flow Sensor* hanya bisa dilakukan diawal plant diaktifkan dan diakhir plant dinonaktifkan, karena aliran yang masuk dalam HE terhalang oleh *reducer* $\frac{1}{2}$ inch – $\frac{1}{4}$ inch sehingga terjadi turbulensi yang cukup besar didalam pipa

PVC. Hal ini sangat mengganggu pembacaan sensor *Water Flow* sehingga tampilan di LCD akan menunjukkan angka 00,00 L/min. Namun setelah dilakukan *troubleshooting Water Flow Sensor* dapat membaca aliran yang terdapat pada masukan HE. *Setpoint* dari *flow* tidak dapat diatur sehingga *setpoint* diperoleh dari keluaran *Primary Controller* yaitu dari pengendalian *temperature*. Pada dasarnya adanya *Secondary Loop* ini hanya sebagai pembantu pada *Primary Loop* dan tidak menjadi umpan balik untuk *Primary Loop*.



Gambar 4.8 Pemasangan Sensor *Water Flow*

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB V

PENUTUP

Pada bab terakhir ini merupakan pengambilan kesimpulan dari semua hasil data yang di dapat dan telah dianalisis sebagaimana telah di jelaskan pada proses perancangan hingga menjadi alat yang siap di running untuk dianalisis responnya dan saran yang diberikan untuk menyempurnakan alat ini.

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan dari semua hasil pengujian dan analisis data yang telah di bahas maka dapat diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Pengendalian Temperature outlet Heat Exchanger sangat diperlukan mengingat semakin lama temperatur HE terus naik secara drastis dikarenakan burner yang aktif secara terus menerus
2. Dari data yang didapatkan dapat disimpulkan bahwa waktu untuk sistem mencapai steady state adalah 5 menit.
3. Meskipun telah mencapai steady state, pada sistem ini masih terjadi sedikit kenaikan yang disebabkan karena burner yang terus membakar tube spiral dalam HE.
4. Setpoint pada Secondary Loop diperoleh dari output Primary Controller sehingga tidak dapat diatur.
5. Sistem Pengendalian pada Tugas Akhir ini dapat berjalan dengan hanya dengan Primary Loop yaitu temperature tanpa bantuan dari Secondary Loop dari Flow.

5.2 Saran

Sistem yang sudah dirancang sudah bisa memenuhi target namun ada beberapa hal yang masih menjadi kekurangan pada plant yaitu:

1. Timeline lebih diperhatikan agar proses pengerjaan Tugas Akhir sesuai dengan target.
2. Dilakukan perancangan mekanik dan elektrik dengan lebih teliti agar tidak terjadi kesalahan ketika akan membangun plant.
3. Dilakukan proses Kalibrasi Sensor dan Aktuator dengan hasil yg lebih baik agar sesuai dengan perencanaan.
4. Grounding lebih diperhatikan agar pembacaan sensor dapat lebih akurat.

DAFTAR PUSTAKA

Bakti K.W, Dheka, dkk (2016). “Pengendalian Temperature Secara Cascade Control Menggunakan Proportional – Integral Berbasis Mikrokontroller ATmega8535”. Jurusan Teknik Elektro Universitas Diponegoro.

Rina Sunaryo, Geni, dkk (1999). “Perancangan Sistim Air Laut Menjadi Air Tawar Berdasarkan Metoda Desaliansasi Multistage Flash Distillation (MSF)”. *Prosiding Presentasi Ilmiah Teknologi Keselamatan Nuklir-IV ISSN No.: 1410-0533 P2TKN-BATAN*

Kalogirou. (2005). “Seawater Desalination Using Renewable Energy Sources”. *Prog EnergyCombust Sci.* 2005;31:242-81.

Christian Nababan, Franky (2011). ”Rancang Bangun Alat Desalinasi Air Laut Sistem Vakum Natural dengan Media Evaporator dan Kondensor yang Dimodifikasi Flange”. Departemen Teknik Mesin Universitas Sumatera Utara.

Thulukkanam, Kuppan (2013). “Heat Exchanger Design Handbook Second Edition”. Boca Raton : CRC Press.

Ardianto, Rifadli (2016). “Implementasi Pengaturan Level – Flow pada Miniplant RO (Reverse Osmosis) dengan Metode PID – Cascade Control”. Departemen Teknik Elektro Politeknik Elektronika Negeri Surabaya

Mostofa A. Fellani, Aboubaker M. Gabaj (2015). “PID Controller Design for Two Tanks Liquid Level Control System using Matlab”. *International Journal of Electrical and Computer Engineering (IJECE)*, Vol. 5 No. 3, June 2015.

Bhavsar, Jay. J, dkk (2013). “Design and Experimental Analysis of Spiral Tube Heat Exchanger”. *International Journal of Mechanical and Production Engineering*, ISSN: 2320-2092, Volume-1, Issue-1, July-2013

LAMPIRAN

(Listing Program di CVAVR)

```
#include <mega1280.h>
#include <delay.h>
#include <stdlib.h>
#include <string.h>
#include <spi.h>
#asm
    .equ __i2c_port=0x0B ;PORTD
    .equ __sda_bit=1
    .equ __scl_bit=0
#endasm
#include <i2c.h>
#include <ds1307.h>
#include <alcd.h>
#define eco PINF.6
#define tri PORTF.5
float flow,time,jarak,jarakCm,level;
int cntLvl;
unsigned suhu;
int counter,msdetik,opena,openb,openc,opend,flaglvl;
int adcPh,adcKadar,adhigh,adlow;
float voltPh,pH,kadar;
char
tempPh[5],buff[16],bufflvl[10],tempKadar[5],tempLevel[
5],tempFlow[5];
unsigned char wd;
unsigned char dd;
unsigned char mm;
unsigned char yy;
unsigned char s;
unsigned char m;
```

```

unsigned char h;
interrupt [EXT_INT4] void ext_int4_isr(void)
{
    counter++;
}
#include <stdio.h>
interrupt [TIM0_OVF] void timer0_ovf_isr(void)
{
    TCNT0=0x64;
    msdetik++;
    if(msdetik>=10){
        flow  = (float) counter*0.1/7.5;
        ftoa(flow,2,tempFlow);
        counter=0;
        msdetik=0;
    }
}
#define ADC_VREF_TYPE 0x00
unsigned int read_adc(unsigned char adc_input)
{
    ADMUX=(adc_input & 0x1f) | (ADC_VREF_TYPE &
0xff);
    if (adc_input & 0x20) ADCSR_B |= 0x08;
    else ADCSR_B &= 0xf7;
    delay_us(10);
    ADCSR_A|=0x40;
    while ((ADCSR_A & 0x10)==0);
    ADCSR_A|=0x10;
    return ADCW;
}
FRESULT res;
unsigned int nbytes;
FATFS fat;

```



```

FIL file;
char path[]="0:/TES.txt";
char simpan[]="TES SD CARD";
char buffer[256];
flash char * flash error_msg[]={
    "",
    "FR_DISK_ERR",
    "FR_INT_ERR",
    "FR_NOT_READY",
    "FR_NO_FILE",
    "FR_NO_PATH",
    "FR_INVALID_NAME",
    "FR_DENIED",
    "FR_EXIST",
    "FR_INVALID_OBJECT",
    "FR_WRITE_PROTECTED",
    "FR_INVALID_DRIVE",
    "FR_NOT_ENABLED",
    "FR_NO_FILESYSTEM",
    "FR_MKFS_ABORTED",
    "FR_TIMEOUT"
};
void bacaph();
void bacakadar();
void bacalevel();
void bacaultra();
void bacaSuhu();
void error(FRESULT res) {
    if ((res>=FR_DISK_ERR) && (res<=FR_TIMEOUT))
        printf("ERROR: %p\r\n",error_msg[res]);
    while(1);
}

```

```

void bacaph(){
    adcPh = read_adc(0);
    voltPh = (float) adcPh * 0.0048828125;
    pH = (float) 3.5+voltPh;
    ftoa(pH,2,tempPh);
}
void bacakadar(){
    adcKadar=read_adc(1);
    kadar = (float) (0.518*adcKadar)-222.4;
    if(kadar<0){
        kadar=0;
    }
    ftoa(kadar,2,tempKadar);
}
void bacalevel(){
    adhigh=read_adc(2);
    adlow=read_adc(3);
    if(adhigh>512 && adlow>512){sprintf(bufflvl,"High");
flaglvl=2;}
    else if(adhigh<512 &&
adlow>512){sprintf(bufflvl,"Standart"); flaglvl=1;}
    else if(adhigh<512 &&
adlow<512){sprintf(bufflvl,"Low"); flaglvl=0;}
}
void bacaultra(){
    DDRF.5=1; PORTF.5=0;
    DDRF.6=0; PORTF.6=1;
    tri=1;
    delay_us(10);
    tri=0;
    for(;;){
        if(eco==1){
            cntLvl=0;

```

```

        break;
    }
}
for(;;){
    cntLvl++;
    if(eco==0){
        break;
    }
}
time = (float) 0.0000000625*cntLvl;
jarak = (float) (time*343)/2;
jarakCm = (float) (cntLvl*31.133+26.98)/1000;
level = (float) 62-jarakCm;
if(level<0){
    level=0;
}
ftoa(level,2,tempLevel);
}

void bacaSuhu(){
    DDRC.6=1;
    PORTC.4=0;
    suhu=(unsigned) spi(0)<<8;
    suhu|=spi(0);
    PORTC.4=1;
}

void setServoA(float sudut)
{
    unsigned int buff_sudut = (unsigned
int)((1.3889*(float)sudut) + 250);
    OCR1AH = (unsigned char)(((buff_sudut & (unsigned
int)0xFF00))>>8);
    OCR1AL = (unsigned char) (buff_sudut & (unsigned
int)0x00FF);
}

```

```
}
```

```
void setServoB(float sudut)
```

```
{
```

```
    unsigned int buff_sudut = (unsigned  
int)((1.3889*(float)sudut) + 250);
```

```
    OCR1BH = (unsigned char)(((buff_sudut & (unsigned  
int)0xFF00))>>8);
```

```
    OCR1BL = (unsigned char) (buff_sudut & (unsigned  
int)0x00FF);
```

```
}
```

```
void setServoC(float sudut)
```

```
{
```

```
    unsigned int buff_sudut = (unsigned  
int)((1.3889*(float)sudut) + 250);
```

```
    OCR3AH = (unsigned char)(((buff_sudut & (unsigned  
int)0xFF00))>>8);
```

```
    OCR3AL = (unsigned char) (buff_sudut & (unsigned  
int)0x00FF);
```

```
}
```

```
void setServoD(float sudut)
```

```
{
```

```
    unsigned int buff_sudut = (unsigned  
int)((1.3889*(float)sudut) + 250);
```

```
    OCR3BH = (unsigned char)(((buff_sudut & (unsigned  
int)0xFF00))>>8);
```

```
    OCR3BL = (unsigned char) (buff_sudut & (unsigned  
int)0x00FF);
```

```
}
```

```
void main(void)
```

```
{
```

```
#pragma optsize-  
CLKPR=0x80;
```

```
CLKPR=0x00;
#ifdef _OPTIMIZE_SIZE_
#pragma optimize+
#endif
PORTA=0x00;
DDRA=0x00;
PORTB=0x00;
DDRB=0x60;
PORTC=0x00;
DDRC=0x00;
PORTD=0x00;
DDRD=0x00;
PORTE=0x00;
DDRE=0x18;
PORTF=0x00;
DDRF=0x00;
PORTG=0x00;
DDRG=0x00;
PORTH=0x00;
DDRH=0x00;
PORTJ=0x00;
DDRJ=0x00;
PORTK=0x00;
DDRK=0x00;
PORTL=0x00;
DDRL=0x00;
TCCR0A=0x00;
TCCR0B=0x03;
TCNT0=0x64;
OCR0A=0x00;
OCR0B=0x00;
TCCR1A=0xA2;
TCCR1B=0x1D;
```

```
TCNT1H=0x00;
TCNT1L=0x00;
ICR1H=0x13;
ICR1L=0x87;
OCR1AH=0x00;
OCR1AL=0x00;
OCR1BH=0x00;
OCR1BL=0x00;
OCR1CH=0x00;
OCR1CL=0x00;
TCCR3A=0xA2;
TCCR3B=0x1D;
TCNT3H=0x00;
TCNT3L=0x00;
ICR3H=0x13;
ICR3L=0x87;
OCR3AH=0x00;
OCR3AL=0x00;
OCR3BH=0x00;
OCR3BL=0x00;
OCR3CH=0x00;
OCR3CL=0x00;
EICRA=0x00;
EICRB=0x03;
EIMSK=0x10;
EIFR=0x10;
TIMSK0=0x01;
TIMSK1=0x00;
TIMSK2=0x00;
TIMSK3=0x00;
TIMSK4=0x00;
TIMSK5=0x00;
```

```

UCSR0A=0x00;
UCSR0B=0x08;
UCSR0C=0x06;
UBRR0H=0x00;
UBRR0L=0x67;
UCSR1B=0x00;
UCSR2B=0x00;
UCSR3B=0x00;
ACSR=0x80;
ADCSRB=0x00;
DIDR1=0x00;
DIDR0=0x00;
DIDR2=0x00;
ADMUX=ADC_VREF_TYPE & 0xff;
ADCSRA=0x84;
SPCR=0x00;
TWCR=0x00;
i2c_init();
lcd_init(16);
#asm("sei")
if ((res=f_mount(0,&fat))==FR_OK)
    printf("Logical drive 0: mounted OK\r\n");
else
    error(res);
if ((res=f_open(&file,path,FA_WRITE))==FR_OK)
    printf("File %s opened OK\r\n",path);
else
    /* an error occurred, display it and stop */
    error(res);
while (1)
{
    bacaph();
    bacakadar();
}

```

```

    bacalevel();
    bacaultra();
    bacaSuhu();
    if(kadar>=10){
        setServoA(90); opena = 100;
        setServoB(0); openb=0;// cl
    }
    if(kadar<10){
        setServoA(0); opena=0;// cl
        setServoB(90); openb=100;// op
    }
    if(flaglvl==2){
        setServoC(180); openc=100;
    }
    if(flaglvl==1||flaglvl==0){
        setServoC(0); openc=0;
    }
    if(suhu>=120){
        setServoD(90); opend=100;
    }
    if(suhu<120){
        setServoD(45); opend=50;
    }
    rtc_get_time(&h,&m,&s);          // Fungsi
mengambil data waktu
    rtc_get_date(&wd,&dd,&mm,&yy);    // Fungsi
mengambil data tanggal
    sprintf(buffer,"%s,%s,%s,%s",tempPh,bufflvl,tempKadar
,suhu);
    printf("%s",buffer);
    sprintf(buffer,"%02u:%02u:%02u
%02u:%02u:%02u pH= %s, Kadar=%s, Level=%s,

```



```
Suhu=%s\n",dd,mm,yy,h,m,s,tempPh,bufflvl,tempKadar,  
suhu);
```

```
    f_open(&file,path,FA_WRITE);  
    f_write(&file,buffer,sizeof(buffer),&nbytes);  
    f_close(&file);  
    lcd_gotoxy(0,0); lcd_putsf("Lva=      ");  
    lcd_gotoxy(6,0); lcd_puts(tempLevel);  
    lcd_gotoxy(0,1); lcd_putsf("Flw=      ");  
    lcd_gotoxy(6,1); lcd_puts(tempFlow);  
    sprintf(buff,"VW=%3d% %  
VG=%3d% %",opena,openb);  
    lcd_gotoxy(0,2); lcd_puts(buff);  
    sprintf(buff,"VL=%3d% %  
VT=%3d% %",openc,opend);  
    lcd_gotoxy(0,3); lcd_puts(buff);  
    delay_ms(400);
```

```
}
```

```
}
```

BIODATA PENULIS



Penulis lahir di Sidoarjo, 11 Oktober 1997, Indonesia dan merupakan anak ketiga dari dua bersaudara. Penulis bertempat tinggal di Griyo Wage Asri 1 C-23, Taman, Sidoarjo, Jawa Timur. Pada tahun 2003 penulis mengenyam pendidikan di SD Negeri Medaeng 3, selanjutnya pada 2009, penulis meneruskan sekolah di SMP Negeri 1 Taman, dan setelah lulus pada 2012, meneruskan ke SMA Negeri 3 Sidoarjo. Penulis lulus tahun 2015 dan selanjutnya memasuki dunia perkuliahan di Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya tepatnya di Program Studi D3 Teknologi Instrumentasi dan lulus pada tahun 2018.

Penulis telah aktif dalam beberapa organisasi kemahasiswaan diantaranya menjadi pengurus Badan Eksekutif Mahasiswa Fakultas Teknologi Industri ITS, dan Laboratorium Workshop Instrumentasi.

Konsentrasi tugas akhir yang didalami adalah bidang rekayasa instrumentasi dan kontrol. Pada bulan Juli 2018 penulis telah menyelesaikan Tugas Akhir dengan judul **Rancang Bangun Sistem Pengendalian *Temperature – Flow* pada *Heat Exchanger Miniplant Desalination Water* secara *Cascade Control***.

Apabila pembaca ingin berdiskusi lebih lanjut mengenai tugas akhir, serta memberikan kritik dan saran maka dapat menghubungi penulis melalui *email* : ananta1110@gmail.com